

1

messen · steuern · regeln

Prozeßrechner

Leiteinrichtung

Rangierverteiler

Warte

bitserieller Prozeßbus

Feld

MP-Regler

Prozeß-peripherie

MP-Regler

Prozeß-peripherie

MP-Regler

lokaler Rangierverteiler


VEB
Verlag Technik
Berlin
Januar 1984
EVP: 4,- M

17. Fachkolloquium Informationstechnik der Technischen Universität Dresden, Sektion Informationstechnik

Zu Problemen der Automatisierungstechnik

Vom 22. bis 24. Februar 1984 veranstaltet die Sektion Informationstechnik der TU Dresden ihr 17. Fachkolloquium. Diese Veranstaltung ist im vierjährigen Rhythmus Problemen der Automatisierungstechnik gewidmet und wird vom Wissenschaftsbereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerung ausgerichtet. In diesem und im folgenden Heft der msr sowie im Heft 1/84 der Wissenschaftlichen Zeitschrift der TU Dresden werden ausgewählte Beiträge dieses etwa 130 Vorträge umfassenden Fachkolloquiums veröffentlicht. Die Vorträge und Diskussionen erfolgen in 5 Plenarveranstaltungen und 6 anwendungsorientierten Sektionen.

Die Weiterentwicklung und wachsende Anwendungsbreite der Automatisierungstechnik ist heute vor allem vom Wandel durch die Mikroelektronik getragen. Anwendungserfahrungen, die aus der Konzipierung, dem Entwurf, der Projektierung, der Inbetriebnahme und dem Betrieb von Systemen der Prozeßautomatisierung unter dem Aspekt dieses Wandels resultieren, sind einerseits Prüfstein des erreichten Entwicklungsstandes, andererseits folgen daraus entscheidende Impulse für Verbesserungen und weitere Fortschritte. Die gesammelten Erfahrungen sind zugleich geeignet, den raschen und qualifizierten Breiteneinsatz der neuen Automatisierungsmittel zu fördern.

Eine wesentliche Quelle der dringend erforderlichen Erfahrungen bei der schrittweisen Ablösung der traditionellen durch moderne Automatisierungsmitttel sind die Anwendungen. Sie stehen deshalb bei diesem Fachkolloquium für solche Haupteinsatzgebiete der Automatisierungstechnik, wie

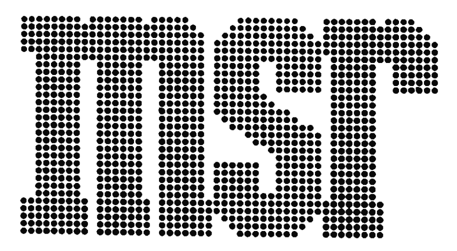
- *Energietechnik*
- *Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik*
- *Fertigungstechnik*
- *Industrieroboter*
- *Landwirtschaft*
- *experimentelle Forschung,*

im Mittelpunkt der Vorträge und Diskussionen. Durch diese Orientierung auf breitgefächerte Anwendungen soll gleichzeitig die interdisziplinäre Zusammenarbeit und der Dialog zwischen Automatisierungstechnikern und Anwendern weiter gefördert werden.

Darüberhinaus machen anwendungsspezifische Lösungen von Automatisierungsaufgaben die außerordentlich differenzierten Leistungs- und Aufwandsanforderungen unterschiedlichster Anwenderdisziplinen deutlich und erleichtern Schlußfolgerungen für die notwendige Niveaustufung z. B. der Geräte- und Programmtechnik, der Mensch-Maschine-Kommunikation, der Theorie und Entwurfsmethoden. Wichtige Erkenntnisse resultieren vor allem auch aus der Vielfalt der Anwendungen und den damit verbundenen unterschiedlichen Kompliziertheitsgraden der Automatisierungsobjekte, den unterschiedlichen Automatisierungszielen und Funktionen sowie den Erfordernissen für die Wartung und Instandhaltung.

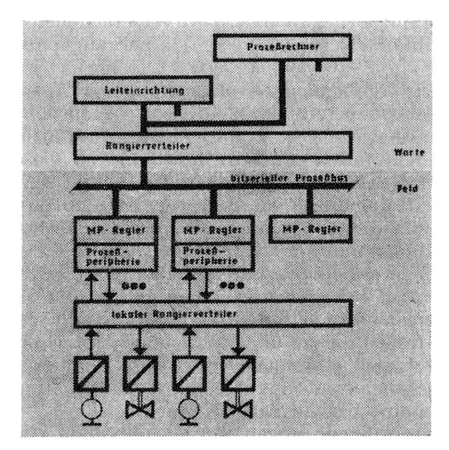
Wir erwarten, daß es auf diesem Wege gezielt möglich ist, einen Beitrag zur drastischen Verkürzung der Lernphase beim Einsatz der modernen Mittel und eine Reduzierung der heute noch relativ großen Niveauunterschiede bei der Umsetzung von Automatisierungszielen zu leisten.

msr 7992 *Prof. Dr. sc. techn. H. Töpfer, TU Dresden, Sektion Informationstechnik, WB Regelungstechnik und Prozeßsteuerungen*



messen·steuern·regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik



Das 17. Informationstechnische Kolloquium der TU Dresden ist aktuellen Problemen der Automatisierungstechnik gewidmet. Die Hefte 1 und 2/1984 der msr dienen als Tagungsmaterialien für das Fachkolloquium. Ein Schwerpunkt im Themenspektrum ist der Einsatz moderner Automatisierungsmittel, z. B. auch des ursamat-Systems. Unser Titelbild zeigt schematisch die dezentrale Anlagenstruktur des Teilsystems ursatron 5000.

Titelgrafik: *G. Schwesinger*

Herausgeber:

Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

1

27. Jahrgang
Januar 1984

VEB
VERLAG TECHNIK

AUFSÄTZE

ISSN 0026-0347

H. Töpfer; H. Willem; H. Fuchs[1])

Zum Stand der Anwendung moderner Automatisierungsmittel

0. Einleitung

In [1] wurden die in der DDR entwickelten und in die Produktion überführten modernen Systeme der Automatisierungs- und Prozeßrechentechnik, das Gerätesystem ursatron 5000 und die Rechnerfamilie K 1600, vorgestellt. Darüber hinaus befinden sich nun auch das System audatec [2], das vor allem für die Automatisierung größerer Fließprozesse geeignet, aber auf- und abrüstbar ist, und das Gerätesystem GAA 5000 [3], das speziell für die Gebäudeautomatisierung entwickelt wurde, aber breitere Nutzungsmöglichkeiten bietet, bereits in der Anwendung. Während sich das System audatec in starkem Maße auf Baugruppen und Geräte des Systems ursatron 5000 und die Rechner K 1520 und K 1600 abstützt, basiert das System GAA 5000 auf einer davon unabhängigen Systemkonzeption und auf anderen Baugruppen und Geräten.
Mit den genannten Komponenten und Systemen wurden vor allem im Projektstadium und auch in der industriellen Anwendung erste Erfahrungen gesammelt, über die hier u. a. berichtet werden soll, um daraus einige erste allgemeingültige Erkenntnisse abzuleiten.
Auf die mit der Automatisierung von Stückgutprozessen im Zusammenhang stehenden Entwicklungen, die durch andere Gerätesysteme beherrscht werden (siehe [4] bis [10] und Bild 1), kann hier nicht eingegangen werden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß sich auf diesem Gebiet eine noch stärkere Umwälzung als im Bereich der Automatisierung von Fließgutprozessen vollzieht. Einschätzungen der internationalen Entwicklung weisen bei Fließgutprozessen Steigerungsraten von 5%/Jahr, bei Stückgutprozessen dagegen von 20%/Jahr aus.

1. Niveaustufung der Automatisierungslösungen

Das Spektrum von Automatisierungslösungen reicht von der Klein- und Mittelautomatisierung bis zur Großautomatisierung. Es wird in starkem Maße geprägt von solchen Merkmalen wie:

- **Objektniveau** (Kühlschrank bis Kernkraftwerk)
- **Zielniveau** (einzielig bis kompliziert mehrzielig)
- **Funktionsniveau** (Zweipunktverhalten bis Adaption)
- **Geräte- und Programmniveau** (Regler ohne Hilfsenergie bis Hierarchiesystem bzw. Nutzung von Programmodulen bis zur speziellen Softwareerstellung)
- **Entwurfsniveau** (Routineentwurf bis dialogorientierter rechnergestützter Entwurf)
- **Wartungs- und Serviceniveau** (traditionelle Wartung bis Eigendiagnose).

Infolge dieser großen Breite an Forderungen und Mitteln müssen die Automatisierungslösungen den sehr differenzierten Leistungs- und Aufwandsanforderungen bzw. den verschiedensten Objektklassen und technologischen Linien flexibel angepaßt werden können.
Aus dieser sich natürlich ergebenden Niveaustufung der Automatisierungsobjekte resultieren unterschiedlichste Ansprüche z. B. an die Gerätetechnik. Dazu gibt Tafel 1 einen repräsentativen Überblick. Sie macht unter anderem deutlich, daß diese Forderungen von einem Gerätesystem allein nicht erfüllt werden können, sondern daß nur durch eine Gerätepalette mit angemessener Niveaustufung der notwendigen Anpassung an die jeweiligen Aufgabenstellungen entsprochen werden kann.
Aus Tafel 1 ist ebenfalls zu erkennen, daß vor allem die modernen Automatisierungsmittel geeignet sind, einen größeren Umfang der genannten Ansprüche zu erfüllen. Dabei erlangen heute solche Aspekte, wie die freie Programmier- und Konfigurierbarkeit, die Mensch-Maschine-Kommunikation, die Projektierungs- und Inbetriebnahmehilfen, das Havarieverhalten und die Serviceeigenschaften eine besondere Bedeutung.
Die jeweiligen Automatisierungslösungen werden abhängig von der Stückzahl in Form von **speziellen Projekten** erarbeitet, oder sie resultieren als Varianten aus **typischen Problemlösungen**, die vorwiegend abgeleitet sind aus unifizierten Baugruppen, Geräten und Programmodulen; bei großen Stückzahlen dagegen werden **Speziallösungen** entwickelt, die zunehmend unter Anwendung von Kundenwunschschaltkreisen entstehen.
Die technisch-ökonomisch günstige Lösung von Automatisierungsaufgaben erfordert zunehmend die Entwicklung und Produktion niveaugestufter Mittel der Hard- und Software sowie zugehöriger, geeigneter Hilfsmittel für die Analyse, Synthese, Projektierung, Simulation und Inbetriebnahme von Automatisierungseinrichtungen.

Tafel 1. Forderungen bei Automatisierungsgeräten

Zielvorgabe	Realisierungsvarianten
Automatisierungsfunktion	. Überwachen . Bilanzieren . Sichern . Stabilisieren . Führen . Optimieren
Grundaufgaben	. Messen . Stellen . Verarbeiten . Informationsein- und -ausgabe . Übertragung
Bedienung	. Fernbedienung . Vor Ort . Eingang direkt/kodiert . Schreiber/Drucker . Display . Alarme optisch/akustisch
Konfigurierung	. Frei- oder Festprogramm . Modulvorrat
Hilfsenergieformen	. Elektrisch/Optisch . Fluidisch . Mechanisch . Mischtechnik
Signalformen	. Analog . Diskret . Hybrid usw.
Koppelbarkeit	. Hilfsenergie . Signalform und -parameter
Genauigkeitsklassen	. Hohe — . Mittlere — . Geringe Genauigkeit
Dynamisches Verhalten	. Schnell . Mittelschnell . Langsam
Einsatzbedingungen	. Umgebungsbedingung . Ortsfest/Beweglich . Nah- und Fernbereiche . Zentral/Dezentral
Projektierungseigenschaft	. Hilfsmittel für Projektierung, An- und Abfahrtsbetrieb separat oder integriert
Inbetriebnahmehilfen	
Service/Wartung	. Unterstützung durch Eigendiagnose im Gerät . Dialogunterstützter Service über Bildschirm . Auswechselung oder Reparatur
Havarieverhalten	. Positionen einfrieren . Gefahrlose Positionen einnehmen . Nach Programm abfahren
Ablösesituation	. Gerätetyp läuft weiter . Läuft aus . Wird gezielt und kompatibel (Signale/Software) abgelöst

[1]) Prof. Dr. sc. techn. *Heinz Töpfer* (53) studierte von 1951 bis 1955 an der TH Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Fachrichtung Feinmechanik. Anschließend Assistent am Institut für Regelungstechnik der TH bzw. TU Dresden. Von 1958 bis 1967 Tätigkeit im Institut für Regelungstechnik und Steuerungstechnik der Deutschen Akademie der Wissenschaften auf dem Gebiet der pneumatischen (fluidischen) Automatisierungsgeräte. 1963 Promotion A. 1967 Berufung zum ordentlichen Professor für Regelungstechnik an die TH Magdeburg. 1978 Umberufung an die TU Dresden, dort seither Leiter des WB Regelungstechnik und Prozeßsteuerung an der Sektion Informationstechnik. 1983 Promotion B. Von 1973 bis 1982 Vorsitzender der WGMA, jetzt ihr Ehrenvorsitzender.

Prof. Dr.-Ing. *Herbert Willem* (49) schloß 1955 sein Studium der Fachrichtung Elektromaschinen an der Ingenieurschule Ilmenau ab. Darüber hinaus beendete er 1965 ein Fernstudium Regelungstechnik an der TU Dresden. In seiner beruflichen Tätigkeit arbeitete er zu Fragen der Automatisierungstechnik (Prozeßrechentechnik) im Forschungszentrum der Flugzeugindustrie, im Zentralinstitut für Automatisierung und dem daraus hervorgegangenen Institut für Datenverarbeitung Dresden als Abteilungsleiter und Fachdirektor. Seit 1977 Direktor des ZFT im VEB Kombinat Robotron, gleichzeitig seit 1979 Honorarprofessor für Prozeßrechentechnik an der TU Dresden. 1976 Promotion A an der TH Ilmenau. Vorstandsmitglied der WGMA.

Prof. Dr.-Ing. *Hans Fuchs* (46) studierte von 1954 bis 1960 Regelungstechnik an der TH Ilmenau. Seit 1960 im IfR Berlin als Entwicklungsingenieur, Gruppenleiter, Fachdirektor und von 1979 bis 1983 als Institutsdirektor tätig. Gleichzeitig seit 1981 Direktor F/E des KEAW. Seit 1983 vom Generaldirektor des KEAW als Sonderbeauftragter für Elektronik eingesetzt. Seit 1968 nebenberuflich in der Lehre tätig, zunächst an der TH Karl-Marx-Stadt, 1975 Berufung zum Honorardozenten und 1983 zum Honorarprofessor an die TU Dresden. 1972 Promotion A an der TH Ilmenau. Vorstandsmitglied der WGMA.

Bild 1. Anwendungsbereiche von Automatisierungseinrichtungen der DDR

audatec [28]; ursatron 5000 [34]; GAA 5000 [33], PS 2000 [4]; IRS 2000 [9]; IRS 600 [10]; PC 600 [8]; CNC 600 [9]

K Kraftwerke; V Verfahrenstechnik; A Aggregate; G Gebäude

	Hauptanwendung							
	für Prozeßsteuerungen				für Maschinen- und Robotersteuerungen			
System	audatec (V, K, A)	ursadat 5000 ursalog 5020	ursalog 5010	audatec G	PS 2000	IRS 2000	IRS 600 PC 600	CNC 600
Gerätebasis	ursatron 5000			GAA 5000			ursalog 5020	
	K 1520						K 1520	
	K 1600							
Bauelementebasis	MP - SK - U 880						MP - SK - U 880	
					diskreter Prozessor SK-Familie U 808			

Da die konkrete Wahl der Mittel für die Umsetzung stets niveauangepaßt erfolgen sollte, zwingen der vorhandene Spielraum und die sich bietende Lösungsvielfalt bei Beachtung des raschen Generationswechsels [11] zur Erhöhung der Qualität bei gleichzeitiger Verkürzung der Zeit der Vorbereitungsphase. Es empfiehlt sich deshalb, in der Einführungsphase dieser neuen Mittel die erzielten Ergebnisse ständig zu analysieren und erforderliche Schlußfolgerungen abzuleiten.
Für die Lösung der zunehmend komplexer werdenden Aufgaben geht es neben der Ableitung gesicherter Algorithmen für die Projektierung und Inbetriebnahme auch zunehmend darum, „Augenmaß" für die grundsätzlichen Entscheidungen bei der Wahl eines Gerätesystems oder der Kombination unterschiedlicher Systeme zu entwickeln. Die enorme Breite der Einflüsse, die diese Entscheidung beeinflussen, wird u. a. aus [12] deutlich. Eine gewisse Grundzuordnung der in der DDR angebotenen Gerätetechnik zu Aufgabenklassen resultiert aus Bild 1 [13], obwohl die Grenzen nicht so scharf zu sehen sind, wie sie in einem solchen Bild abgesteckt werden.

2. Verallgemeinerte Planungs-, Projektierungs- und Einsatzerfahrungen

Grundsätzlich darf festgestellt werden, daß früher formulierte Erwartungen ([1] u. a.) an digitale dezentrale Automatisierungssysteme im Laufe der vergangenen Jahre generelle Bestätigung fanden. Bezüglich der bereits auf dem Markt befindlichen und in der Einführung begriffenen modernen Systeme läßt sich etwa folgender Erkenntnisstand abheben [12] bis [17]:

- Der Einfluß der Mikroelektronik führte u. a. zur Nutzung folgender Freiheitsgrade:
  . freie Gestaltung auf der Meßseite
  . freie Gestaltung der Automatisierungsfunktion (Einheit von Steuerung und Regelung)
  . freie Gestaltung der Beobachtungs- und Bedienfunktion.
- Deutliche Anwendungsvorteile ergeben sich vor allem bei strukturellen und funktionellen Veränderungen und Erweiterungen bereits installierter Systeme. Diese lassen sich oft in Stunden erledigen, dies fördert die Möglichkeit ständiger Verfeinerungen.
- Die moderne Technik ist um so besser zu nutzen, je qualifizierter das Personal ist.
- Es hat sich keine einheitliche Planungs- und Projektierungsform für alle Systeme herausgebildet. Die Umsetzung der Automatisierungsziele in Konzepte und Lösungen wird noch stark von subjektiven Faktoren (Erfahrungen, Intuition, Risikobereitschaft) getragen. Daraus resultieren noch relativ große Niveauunterschiede der Automatisierungsanlagen. Die fehlende bzw. unzureichende Schnittstellennormung kompliziert diese Situation zusätzlich.
- Aufgrund bisheriger Anwendungen — bei länger betriebenen Anlagen — wird die wirtschaftliche Rechtfertigung digitaler Automatisierungssysteme deutlich unterstrichen.
- Die durch die neuen Systeme entstehenden Probleme aufgrund neuer Aufgaben, neuer Hard- und Software und neuer Strukturen führen (führten) naturgemäß zu einem anfänglichen Anstieg der Aufwendungen in der Vorbereitungsphase, der mit wachsenden Erfahrungen überwunden wird (wurde). Der Gesamtumfang an Zeit und Kosten für Planung, Projektierung, Montage und Inbetriebnahme führt schrittweise zu insgesamt positiveren Bilanzen.
- Bei der Einschätzung der Kostenentwicklung muß allerdings der gewachsene Leistungszuwachs beachtet und in Rechnung gestellt werden.
- Wichtig für eine Verbesserung bei der Herstellung der Projektunterlagen sind Fortschritte bei der maschinellen Projektdokumentation.

3. Zur Einsatzvorbereitung der eigenen Technik

Die im Bild 1 angegebenen Automatisierungsmittel der DDR repräsentieren z. Z. ein unterschiedliches Potential an Anwendungserfahrungen. Folgender Stand läßt sich skizzieren.

1. Über den Einsatz und die Projektierung/Programmierung der **Speicherprogrammierbaren Steuerung PS 2000** liegen gute Erfahrungen vor [4] bis [7] und [8].
2. Zum **System audatec** [2] [11] [19] bis [29] ist die Situation noch nicht so eindeutig und wie folgt einzuschätzen:
   - Zur konzeptionellen Phase der Anwendung des Systems bezüglich der Umsetzung von Automatisierungsstrategien und der Strukturierung liegen bereits Erfahrungen vor, z. B. [21] bis [30]
   - Der Umstieg von der Projektierung konventioneller Systeme auf audatec offenbart gleiche Probleme wie bei anderen international bekannten Systemen. Die erwarteten Vereinfachungen und Einsparungen in der Projektierung sind noch nicht in dem gewünschten Maße erreicht worden. Die „Lernphase" ist noch nicht überwunden
   - Einsatzerfahrungen liegen in verallgemeinerungsfähiger Form nur in den Anfängen vor
   - Befürchtungen, daß sich die Anwender dieser Technik nur mit großem Vorbehalt zuwenden, sind als nicht zutreffend einzuschätzen
   - Die Vorbereitungen/Realisierungen umfassen ein vielseitiges Anwendungsspektrum, es betrifft vor allem die Automatisierung von Walzwerken, Chemieanlagen, Kraftwerken und Tagebauausrüstungen [28]
   - Die sich bietenden strukturellen Möglichkeiten reichen von der autonomen Automatisierungseinrichtung über die Kleinverbundanlage bis zur Großverbundanlage [28]; dieses Konzept der Auf- und Abrüstbarkeit läßt ebenfalls gute Ansätze zur Niveaustufung erkennen.
3. Das **System GAA 5000** [3] [31] bis [33] hat sich bei dem anspruchsvollen Einsatzfall Charité von der Projektierung über die Inbetriebnahme bis zur Betriebsphase bisher gut bewährt. Der Umfang dieses Anwendungsfalles, dessen Struktur auf Bild 2 zurückzuführen ist, läßt sich daran wie folgt skizzieren:
   - 2 Leitzentralen
   - 145 Unterstationen
   - 7018 Prozeßsignale: davon 4226 Binäreingaben (88% Belegung der US), 1824 Binärausgaben (77% Belegung der US), 965 Analogeingaben (81% Belegung US).

   Folgende Erfahrungen wurden gesammelt:
   - Als besonders günstig hat sich bei der Entwicklung dieses Systems die frühe Orientierung an einem repräsentativen Anwendungsfall (siehe oben) erwiesen (Kopplung von Entwicklung/Weiterentwicklung und Ersteinsatz)
   - Hauptanwendungen waren zunächst Überwachungs- und Steuerungsprobleme
   - Die modernen Systeme erfordern eine umfassendere Erprobung als über die bisher üblichen Labortests
   - Beim Ersteinsatz traten Probleme durch starkstromtechnische Einflüsse auf
   - Die Mensch-Maschine-Kommunikation mit Tastatur und Bildschirm hat sich bewährt

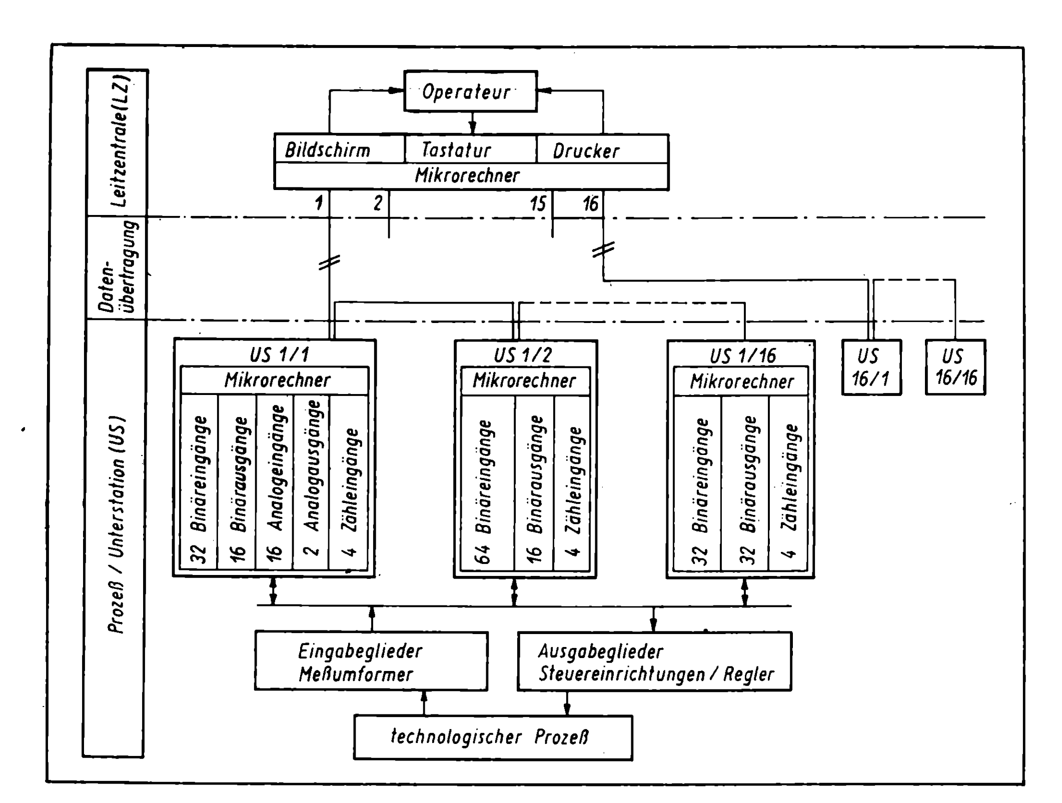


Bild 2. GAA 5000, an LZ Anschluß von 16 Linien mit je 16 US möglich

US-Varianten:

Typ	BE	BA	AE	AA	ZE
U811	32	16	16	2	4
U812	32	32	—	—	4
U813	64	16	—	—	4
U814	32	8	16	2	4
U816	32	24	—	—	4
U814 G	32	16	16	2	4

- Die ersten Projektierungserfahrungen sind bereits in die Projektierungsunterlagen/Kataloge des VEB GRW Teltow eingeflossen, und die Vorgehensweise ist in den dortigen Projektierungsalgorithmus eingeordnet
- Die bisherigen Erfahrungen weisen aus, daß gegenüber konventionellen Lösungen deutliche Hardwareeinsparungen erreicht werden
- Auf der Basis bisheriger Erfahrungen wurden und werden z. Z. weitere Anlagen vorbereitet.

4. Das System **ursatron 5000** [1] [31] bis [42] ist einerseits wesentlicher Bestandteil des Systems audatec (Bild 1), andererseits Basis der Peripherie von Prozeßrechnersystemen. Breite Anwendungsmöglichkeiten bieten sich entsprechend Tafel 3 für die Lösung konkreter Automatisierungsaufgaben in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen.

- Tafel 2 zeigt den Zusammenhang zwischen Funktionsumfang und Art der Programmierung, sie widerspiegelt gleichzeitig die Ansätze zur Niveaustufung
- In [34] sind wesentliche Hilfsmittel für die Programmierung, Projektierung und Inbetriebnahme skizziert. Diese Hilfsmittel sind Ausgangspunkt für die Rationalisierung und Qualitätsverbesserung in der gesamten Vorbereitungsphase
- Die Kompatibilität zur Gerätegeneration ursatron 4000 ist gegeben
- Die bei den Anwendungen gemachten Erfahrungen ergeben in der Grundtendenz ein ähnliches Bild, wie zu audatec geschildert
- Das im Bild 3 gezeigte Blockschaltbild einer Robotersteuerung mit ursalog 5020 — für einen Farbspritzroboter — soll die Aussagen von Tafel 3 zur Anwendungsbreite unterstreichen und die im Bild 1 gegebene sehr scharfe Zuordnung zu bestimmten Anwenderbereichen gleichzeitig abschwächen. Der Roboter ist, wie u. a. folgt, beschreibbar:

  . hydraulisch angetriebener Gelenkroboter
  . Bahnsteuerung (Positioniergenauigkeit ± 2 mm bzw. $\pm 0{,}2°$)
  . Exschutz und Eigensicherheit
  . direktes Teach — in
  . bis zu 75 Programme
  . maximale Programmlänge 20 min.

5. Mit dem **Rechnersystem K 1600** realisierte bzw. in Realisierung befindliche Automatisierungslösungen haben sich bisher gut bewährt. Der K 1600 verfügt als ein Modell des Systems der Kleinrechner über eine umfangreiche Kommunikationsperipherie in Form von Speichertechnik (Platte, Magnetband, Floppy) und Systemsoftware, die die Anforderungen an einen Leitrechner in Automatisierungssystemen erfüllt. Die Kopplung des Rechners zum technischen Prozeß erfolgt über die im Abschnitt 3., Pkt. 4., genannte ursadat 5000.

Tafel 2. ursatron 5000 — Funktion und Programmierung seiner Komponenten

Art der Programmierung		Austauschprogrammierbar	Strukturierung Parametrierung problemorientierte Fachsprache	freiprogrammierbar
Funktion	durch	EPROM	EPROM RAM	RAM EPROM
Steuerung	↓ Verknüpfungsgrad wächst	ursalog 5010	ursalog 5020	
			ursalog 5020	ursadat 5000
Regelung	↓ Kompliziertheit wächst	ursamar 5000	ursamar 5000	
			ursamar 5000	ursadat 5000
Meßwert -erfassung -verarbeitung -darbietung		ursadat / ursatrans 5000		
Prozeß -führung -optimierung			ursatrans 5000	ursadat 5000

Nachfolgend werden zwei typische Anwendungsfälle skizziert, anschließend allgemeine Schlußfolgerungen abgeleitet.

Beispiel 1:

Automatisierungszielstellung ist die Minimierung der Kosten für die pfannenmetallurgische Erzeugung von etwa 300 verschiedenen Edelstahl-Marken.

Die Kosten werden beeinflußt von den Legierungsstoffen, die dem Flüssigstahl in der Pfanne zugegeben werden, und weiterhin von den Verbrauchswerten E-Energie, Argon und Sauerstoff. Während der Ofen- und Pfannenbehandlung werden dem Flüssigstahl ständig Proben entnommen. Die Analysen der Proben werden über einen Analysen-Rechner und die ursadat 5000 zum K 1630 übertragen. Anhand der vorgegebenen Stahlmarke, der Analysenwerte, der Verbrauchswerte von E-Energie, Argon

Tafel 3. Einsatzgebiete bzw. Anwender von Komponenten des Systems ursatron 5000

ursatron 5000			
ursadat 5000	**ursalog 5000**	**ursamar 5000**	**ursatrans 5000**
. Meßwerterfassung Meßwertverarbeitung . Laborautomatisierung . Dispatcher-System . Prozeßperipherie . Spezielle Regelungs- und Steuerungsaufgaben	. Nichtnumerische WZM-Steuerungen . Robotersteuerungen . Steuerungen für Prozesse der Verfahrensindustrie . Prozeßüberwachung . Transportsteuerung . Steuerung der Lagerhaltung	. Kraftwerksregelungen . Regelungen in der Verfahrensindustrie . Heizungs-, Lüftungs-, Klima-Regelung . Gebäudeautomatisierung	. Verbund-System Gas/Öl . Verbund-Netz Elektroenergie . Verkehrswesen . Post . Wasserwirtschaft

und Sauerstoff sowie der Flüssigstahlmasse erfolgt eine Optimierungsrechnung für das Zugeben von Legierungsstoffen.
Meßstellen:

. Analysenrechner
. Wiegeelektronik
(Datenübertragung per Funk)
. Argon
. Sauerstoff
. E-Energie

} für 2 parallel arbeitende Pfannen

Das beschriebene Automatisierungssystem stellt ein Beispiel für die Kopplung von K 1630 mit ursadat 5000 dar (Bild 4).

Beispiel 2:

Aufgabe ist die Vorbereitung von Erdölrückständen (Nachbrechen). Das Nachbrechen erfolgt in 3 praktisch voneinander getrennten technologischen Linien.
Die Automatisierungsaufgabe hat folgenden Charakter:

. Auf der unteren Ebene (Prozeßebene) arbeiten 3 Systeme Honeywell TDC 2000, die die Meßwerterfassung und die Kernregler-Funktionen ausführen. Aufgaben des K 1630 sind
  — die Langzeitverfolgung (Puffer des TDC 2000 können Meßwerte maximal 2—3 h speichern)
  — die Verdichtung der Daten der 3 technologischen Linien zu einer zentralen Information
. Erfaßte Meßwerte (durch K 1630): 1150 analoge; 400 digitale; 800 Alarmsignale (binäre Signale ≙ 50 Digitalwerten)
. Erfassungszyklen: 1 min (etwa 50% der Meßwerte); 2 min; 10 min
. Alarmtest: Alle 2 s durch Austesten des Alarmpuffers (Direct-Input-Puffer im Controller für das Honeywell-System)
. Sollwertvorgabe für etwa 70 Kernregelkreise
. Ausgaben:

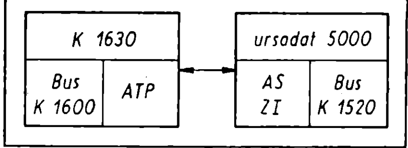


Bild 4. Kopplung K1630/ ursadat 5000

ATB Anschlußsteuerung technologischer Prozeß; AS Anschlußsteuerung zur Kopplung beider Systeme; „Zentralinterface" (ZI)

— Bedienerkommunikation über quasi-grafisches Display (4mal)
— Alarmprotokollierung fortlaufend auf UBT-Bildschirm (im Rollmode) und Druck über Printer am UBT (universelles Bildschirm-Terminal)
— Protokolle
Stundenprotokoll (auf Anforderung), Schichtprotokoll, tägliches Protokoll, monatliches Protokoll, verdichtetes Alarmprotokoll

Aufgaben des Applikations-Programm-Systems:

— Highwax-data-management (Steuerung der 3 TDC 2000-Systeme)
— Primärverarbeitung (nur teilweise, da Primärverarbeitung auch durch TDC 2000 ohne Einschränkung möglich) mit Linearisierung, algebraischem Mittelwert, Integration, Fluß-Kalibrierung, Berechnung indirekter Meßwerte, Konvertierung, Auswertung von 2 on-line-gekoppelten Gaschromatographen
— Protokollierung
— Kommunikation
— Trendberechnungen
— Prozeßanalyse
— Bilanzen- und Kennziffernberechnung (Stoff- und Energiebilanzen).

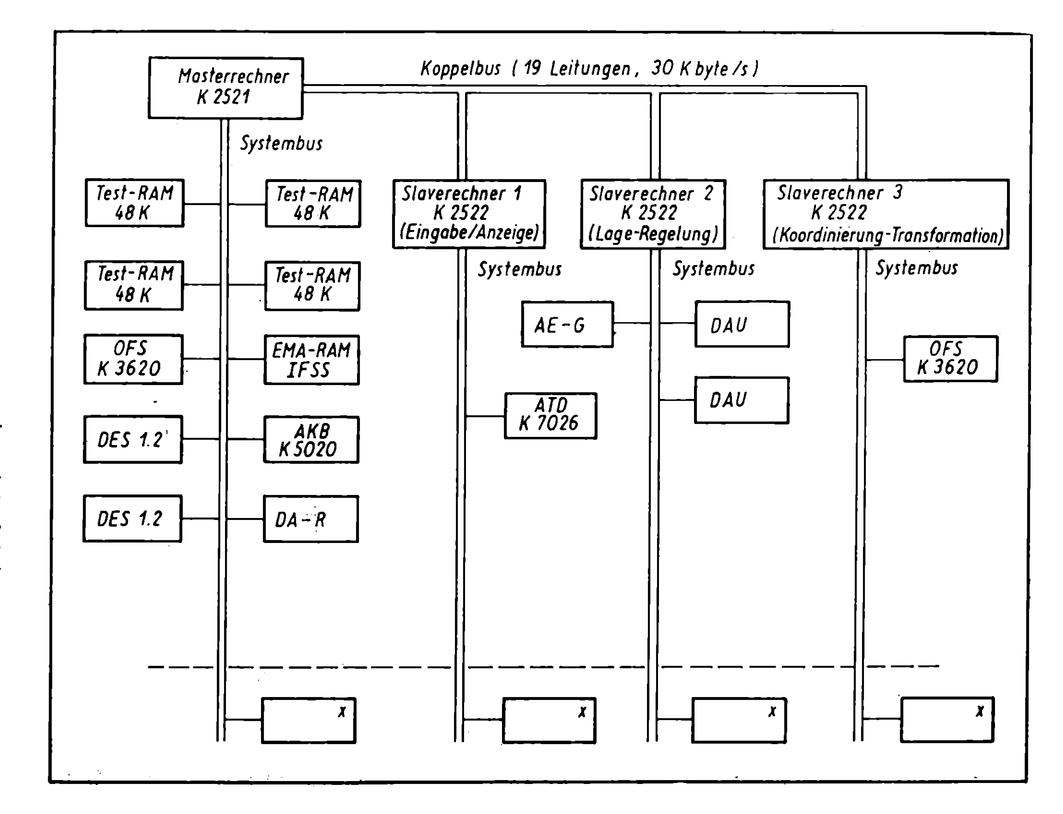


Bild 3. Blockschaltbild der Steuereinrichtung für Gelenkroboter

OFS Operations- und Festwertspeicher; DES Digitaleingabe, statisch; EMA-RAM RAM für Eingangssignale, Merker und Ausgangssignale; IFSS serielles Interface; AKB Anschlußsteuerung Kassettenmagnetband; DA-R Digitalausgang-Relais; ATD Anschlußsteuerung für Tastatur, Drucker, alphanumerische Anzeige; AE-G Analogeingabe Grundkarte; DAU Digital-Analog-Umsetzer zur Ansteuerung der Servoventile; X Baugruppen für Service und Inbetriebnahme

Das hier beschriebene Automatisierungssystem stellt gleichzeitig ein Beispiel für die Kopplung des Rechners K 1630 mit TDC 2000 über GPCI-Controller von Honeywell dar.
Die hier vorgestellten und weitere Anwendungsfälle lassen folgende, weitgehend allgemeingültige Feststellungen zu:

1. Im Rahmen eines modernen Automatisierungssystems sind u. U. verschiedenste Rechner zu koppeln. Da jeder Rechner nur eine endliche Leistung hat, ist bereits im Grobprojekt eine maximale Leistungsverlagerung nach der prozeßnahen Ebene vorzunehmen.
2. Die Kommunikationszyklen Mensch — Rechner — Rechner — Prozeß und zwischen den Rechnerebenen verlangen in der Regel beträchtliche Zusatzaufwände an Hard- und Software für Einleitung, Kontrolle und Abschluß des Kommunikationsvorganges.
3. Für Rechnerebenen und für verschiedene Systemfunktionen sind redundante Lösungen zu erarbeiten, die in der Regel anwendungsspezifischen Charakter tragen.
4. Die logische Strukturierung, Festlegung der Interfacebedingungen für das Applikations-Programm-System und die sinnvolle Zuordnung von Prioritäten sind, wie die jüngsten Erfahrungen wiederum zeigen, eine wesentliche Voraussetzung für ein effektives Einfahren komplexer Applikations-Programm-Systeme.

Zu 1.: Kopplung Rechner—Rechner

Im Rahmen von Automatisierungsvorhaben ist die Kopplung der dezentral eingesetzten Mikrorechner mit den Rechnern der übergeordneten Ebene von besonderer Bedeutung.
Es sollen 3 Kopplungsarten bewertet werden:

- Der dezentrale Mikrorechner wird zur Informationserfassungs- und Ausgabestelle erklärt. Der Informationsaustausch wird über Interrupt des Mikrorechners oder auf Anforderung des übergeordneten Rechners eingeleitet. Es sind spezielle Methoden der datensicheren Übertragung zu entwickeln. Diese Kopplungsart kann relativ problemlos realisiert werden.
- Dezentraler Mikrorechner und übergeordneter Rechner befinden sich im Nahbereich (Entfernung < 15 m). Die Kopplung erfolgt durch BUS-BUS-Kopplung über entsprechende Anschlußsteuerungen. Im Prinzip ist der zweite Rechner immer Peripherie-Gerät. Jeder Rechner kann den Informationsaustausch veranlassen, deshalb sind der Interruptbehandlung zugeordnete Prioritäten von außerordentlicher Bedeutung.
  Für diese Betriebsart sind spezielle Betriebssystemergänzungen notwendig (spezielle Driverentwicklung).
  Bei ausreichender Leistungsfähigkeit der Rechner wird selbst im Nahbereich zunehmend die Nutzung standardisierter, d. h. ausgetesteter Übertragungsprozeduren gegenüber spezifischen Lösungen mit höheren Durchsatzraten vorgezogen.
- Informationsaustausch bei größeren Entfernungen (aber auch im Nahbereich) auf der Grundlage eines Telegrammverkehrs. Für den Telegrammrahmen gibt es Standards, die sich im Grundaufbau nur unwesentlich unterscheiden.

Der Telegrammaufbau soll am Beispiel der HDLC-Prozedur erläutert werden (High level data link control procedure). Diese Prozedur wird bei der Kopplung K 1600/ursadat 5000 genutzt.

Telegrammaufbau:

1	2	3
Signal OLLLLLLO	Adresse 8 bit	Control 8 bit

4	5	6
Information/Text 0 ... 255 byte	FCS 16 bit	Signal OLLLLLLO

Erläuterungen zum Telegramm:

Folge/Synchron-Byte/Flag (1)

Alle Übertragungen beginnen und enden (6) mit OLLLLLLO. Alle Einrichtungen müssen die Signalfolge suchen und für die Wortsynchronisation verwenden.

Adreßfeld (2)

Identifiziert die Sekundärstelle (SS), die in den Informationsaustausch einbezogen werden soll.

Steuerfeld (3)

Enthält die Steuerinformationen

PS: um in der SS eine besondere Funktion zu steuern
SS: um der PS zu antworten
PS = Primärstation (Steuerstation)
SS = Sekundärstation (gesteuerte Station)

Informationsfeld (4)

Beliebige Folge von Bits, am häufigsten wird Byte-Struktur verwendet

Datensicherung/Datenprüfung
(FCS = Frame Checking Sequence) (5)

. Transparent, d. h., der Sender muß den Inhalt des Wortes zwischen beiden Signalfolgen prüfen (Adresse; Steuerung; FCS-Folgen): Einfügen einer „0" nach hintereinander folgenden „L".
  Der Empfänger prüft den Inhalt des Wortes und eliminiert die „0".
. Der Informationsinhalt wird einer Summenprüfung unterzogen. Prüfung erfolgt auf Grundlage eines Polynoms 16. Grades. Prüfsummenbildung und Prüfung erfolgt hardwaremäßig mit dem SIO-Baustein.

Verlauf eines Informationsaustausches

Ein kompletter Informationsaustausch zwischen einer Steuerstation und einer gesteuerten Station erfordert 3 Telegramme, wenn die Steuerstation Daten von der gesteuerten Station erwartet.

1. Telegramm: Adressierung der gesteuerten Station, Aufforderung zum Senden
2. Telegramm: Antwort der gesteuerten Station mit dem gewünschten Datenblock
3. Telegramm: Quittungstelegramm der Steuerstation bei korrekter Übertragung

. Falls nur die Steuerstation Daten an die gesteuerte absetzen will, genügen 2 Telegramme:

1. Telegramm: Adressierung der gesteuerten Station, Senden der Daten
2. Telegramm: Quittung der gesteuerten Station

. Bedingt durch die „Organisation" des Datenaustausches (Aufruf, Nachricht, Quittung) und der Reaktionszeiten sinkt die maximale Datenrate von 500 Kbit/s auf eine effektive Datenrate von etwa 120 Kbit/s ab (Wert wurde auch durch Analyse ähnlicher Busse, z. B. PDV-Bus, gewonnen). Die Quittung wird nur gesendet, wenn der Vergleich positiv verlaufen ist. Wird die Quittung nicht in einem bestimmten Zeitintervall erhalten, wird automatisch die Information noch einmal übertragen.

Zu 2.: Zur Festlegung von Kommunikationszyklen
(Rechner — Rechner)

Ein Kommunikationsvorgang wird immer durch eine Unterbrechung und Erkennungszyklenfolge eingeleitet.
Bei jedem Informationsaustausch sollte darauf geachtet werden, daß der Aufwand für die Einleitung und Steuerung des Informationsaustausches zum Aufwand für den Austausch der Nutzinformation in etwa 1 : 1 betragen sollte. Für die Erkennung des HDCL-Rahmens mit Kontrollinformationen sind etwa 16000 Zyklen erforderlich. Sinkt die Blocklänge unter 90 byte, so überwiegt der Aufwand für Steuer- und Kontrollvorgänge.
Da die maximale zulässige Blocklänge in der Regel nicht ausgenutzt wird, ist der Übertragungszyklus auf eine technologisch zulässige Periodendauer festzulegen. Bei realisierten Automatisierungssystemen wurde vom Auftraggeber z. B. ein Übertragungszyklus von 4 s zu 4 dezentralen Mikrorechnern gefordert, wobei die maximale Blocklänge nur 16 byte betrug. Für die Rechnernutzung stellt dies eine äußerst ungünstige Konstellation dar, da bei 16 byte die Behandlung der Nutzinformation nur etwa 1/6 der gesamten Bearbeitungszeit erfordert.

Zu 3.: Redundante Lösungen

- Mit der zunehmenden Integration der systembestimmenden Schaltkreise können neue, wesentlich höhere MTBF-Werte erreicht werden. Trotzdem ist die Ausfallwahrscheinlichkeit immer größer Null, deshalb ist der Rechner so in das Steuerungssystem einzuordnen, daß bei Ausfall die Back-up-Technik sichert, daß der Prozeß, ohne in Gefahrenzustände zu geraten, weiter betrieben werden kann.

- Wenn die durch den Rechner zu realisierenden Automatisierungsfunktionen mit sehr hoher Zuverlässigkeit zu gewährleisten sind, können zwei Rechner in heißer Redundanz arbeiten, d. h., sie vergleichen ihre Ergebnisse in festgelegten problemorientierten Zyklen, oder es kommen Doppelrechner in Master-Slave-Funktion problemorientiert zum Einsatz.
- Eine zunehmende Forderung ist die, daß abgespeicherte Daten gesichert werden, da auf keinen Fall ein Datenverlust eintreten darf und die Daten im Echtzeitbetrieb mit wahlfreiem Zugriff stets verfügbar sein müssen.

Im Rahmen eines solchen Automatisierungssystems wurde ein Sicherungssystem für Festplattenspeicher entwickelt. Zum Sicherungssystem gehören jeweils zwei Festplatten, die Arbeitsplatte und die Sicherungsplatte.
Mittels Bediener-Kommando wird einer Arbeitsplatte eine Sicherungsplatte zugeordnet. Jede Schreiboperation auf die Arbeitsplatte wird parallel auch auf der Sicherungsplatte durchgeführt. Das Lesen der Daten erfolgt dagegen nur von der Arbeitsplatte. Vom Sicherungssystem können gleichzeitig mehrere Plattenpaare verwaltet werden.
Bei Ausfall der Sicherungsplatte wird diese automatisch aus dem Sicherungssystem ausgegliedert. Datenübertragungen erfolgen dann nur noch mit der Arbeitsplatte. Nach Reparatur kann diese Platte wieder in das Sicherungssystem eingegliedert werden. Bei Ausfall der Arbeitsplatte wird diese ebenfalls automatisch aus dem Sicherungssystem ausgegliedert und die Sicherungsplatte als Arbeitsplatte benutzt.
Nach Wiedereingliedern mittels Bediener-Kommando dient sie wieder als Arbeitsplatte, und die Sicherungsplatte dient wieder der Datensicherung.
Das Wiedereingliedern einer Platte führt automatisch zu einer Aktualisierung der einzugliedernden Platte, d. h., es werden alle Dateien von der aktuellen Arbeitsplatte auf die einzugliedernde Platte übertragen.
Die Aktualisierung läuft parallel zu der normalen Arbeit des Sicherungssystems. Dabei werden vom Sicherungssystem Block für Block der aktuellen Platte nacheinander auf die einzugliedernde übertragen.
Durch diese Arbeitsweise wird gesichert, daß keine Datenverluste auftreten.
Die Aktualisierzeiten sind abhängig von der Kapazität der Plattenspeicher und der aktuellen Belastung durch die normale Plattenarbeit. Sie liegen etwa zwischen 20 und 30 min.

Zu 4.: Organisation der Entwicklung eines komplexen Applikations-Programm-Systems (AP-System)

Es wird vorangestellt, daß die Aufgaben, die durch das AP-System zu lösen sind, determiniert beschreibbar vorliegen. Eigene Erfahrungen und Publikationen weisen aus, daß Programmfehler in hohem Maße ihre Ursache darin haben, daß keine ausreichend gründliche Problemanalyse durchgeführt wurde. Die Problemanalyse muß soweit geführt werden, daß der Algorithmus für jeden Programmodul klar fixiert werden kann.
Eine weitere wesentliche Seite der Programmentwicklung für ein komplexes Anwendungssystem ist die Vorbereitung und Leitung dieses Prozesses. Bereits in der Phase der Problemanalyse ist es notwendig, einen Chefprogrammierer einzusetzen, der echt den inhaltlichen Prozeß überschaut und leitet und keine eigenen Programme entwickelt. Er hat darauf zu achten, daß

- funktionsorientierter Entwurf nach der Top-down-Methode
- strukturierte Programmierung und schrittweise Verfeinerung
- Top-down- und Botton-up-Testverfahren
- schritthaltende Dokumentation nach einheitlichen Richtlinien

durchgehend angewendet werden.

Eine weitere wesentliche Voraussetzung für ein konfliktfreies Einfahren eines komplexen AP-Systems ist, daß

- die Programmierung der Datenzugriffe auf logischem Niveau
- die physische Trennung von Daten- und Programmbasis
- das relationale Konzept bei der Realisierung der externen Datenbasis

rechtzeitig und klar fixiert sind.
Die Erfahrungen bei der Inbetriebnahme der ersten komplexen AP-Systeme zeigen, daß es oft problematisch war, die vielfältigsten Möglichkeiten der Prioritätszuordnung zu APs effektiv zu nutzen. Es empfiehlt sich, Programme, die oft gleichzeitig gestartet werden, mit ausreichender Prioritätsdistanz einzuordnen, wenn es die technologischen Anforderungen zulassen.
Die ersten Anwendungen zeigten weiterhin, daß die vom ZFT Robotron entwickelten technologischen Hilfsmittel

- TESO 1600 (Technologisches Programmsystem zur Software-Entwicklung)
- SEP 1600

sehr zur Systematisierung der Programmentwicklung beigetragen haben.

Zusammenfassung

Die Planung, der Entwurf, die Projektierung und die Inbetriebnahme von modernen Automatisierungsanlagen können einerseits durch den gezielten Ausbau der dafür erforderlichen „technischen Umwelt" an Hard- und Software wesentlich qualifiziert werden. Andererseits muß eine bewußte und systematische Auswertung der Anwendungserfahrungen gepflegt werden, um fehlende Erfahrungen und ein Übermaß an Intuition beim Einsatz moderner Automatisierungssysteme schrittweise abzubauen. Auf diesem Wege müßten die drastische Verkürzung der Lernphase beim Einsatz dieser Mittel und die Reduzierung der noch relativ großen Niveauunterschiede bei der Umsetzung von Automatisierungszielen in Konzepte und Lösungen spürbar zu fördern sein.

Literatur

[1] *Töpfer, H.; Fuchs, H.; Willem, H.:* Moderne gerätetechnische Mittel und ihre Konsequenzen für neue Automatisierungskonzepte. msr, Berlin 23 (1980) 1, S. 2–10.
[2] *Sadowski, H.; Sawatzki, J.:* Das neue Automatisierungssystem für verfahrenstechnische Anlagen. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 17 (1981) 1, S. 3–10.
[3] *Würdisch, H.; Drutkowski, D.; Goldhahn, B.:* GAA 5000 – Das Gebäudeautomationssystem mit Mikrorechentechnik. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 17 (1981) 2, S. 61–66.
[4] *Wiegand, D.:* Applikationserfahrungen mit der speicherprogrammierbaren Steuerung PS 2000 in Industrieanlagen. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 18 (1982) 6, S. 260–265.
[5] *Jennes, H.; Karger, Chr.; Skalla, R.:* Automatisierungsanlage mit dem Steuerungssystem PS 2000 für eine Kalk-Ammon-Salpeter-Granulieranlage. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 19 (1983) 1, S. 13–20.
[6] *Harmuth, A.:* Anwendung und Einsatz des Steuerungssystems PS 2000. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 18 (1982) 2, S. 57–61.
[7] *Nestler, N.:* Programmierbare Steuerung PS 2000/1 im Industrieeinsatz. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 18 (1983) 3, S. 122–125.
[8] *Sobottka, D.; Stoll, M.; Schröter, K.:* PC 600 – eine neue Generation speicherprogrammierbarer Steuerungen. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 18 (1982) 2, S. 38–43.
[9] *Wollenberg, G.; Tissold, J.:* Mikrorechnersteuerungen für Be- und Verarbeitungsmaschinen – Stand und Entwicklungstrend. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 18 (1982) 2, S. 43–48.
[10] *Oehme, J.:* Programmierung, Bedienung und Einsatz der Industrieobotersteuerung IRS 600. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 18 (1982) 3, S. 92–98.
[11] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Zum Generationswechsel bei Automatisierungssystemen. rtp 24 (1982) 10, S. 330–341.
[12] *Fürchtenicht, H. W.; Koolmann, M.:* Sind Automatisierungssysteme allein nach Prozeßanforderungen strukturierbar? VDI-Bericht 431/Aussprachetag Prozeßrechner (PRAT 1982), S. 55–58.
[13] *Neumann, P.; Fuchs, H.:* Einsatz und Dimensionierung von Mikrorechner-Automatisierungsanlagen, Stand und Ausblick. Preprints. Vortrag Wissenschaftliche Tage, September 1983 in Magdeburg.
[14] *Früh, K. F.:* Automatisierungstechnik in der chemischen Industrie, Entwicklungstrends und Anwendererfahrungen. rtp 25 (1983) 5, S. 175–179.
[15] *Wüchner, W.:* Erfahrungen mit digitalen dezentralen Prozeßautomatisierungssystemen. rtp 25 (1983) 5, S. 180–183.
[16] *Hoffmann, W.:* Probleme bei der Anwendung moderner Automatisierungsmittel in der Verfahrensindustrie. VDI-Bericht 451/Aussprachetag Prozeßrechner (PRAT 1982), S. 1–6.
[17] *Reinig, G.:* Zur Anwendung digitaler verteilter Automatisierungssysteme in verfahrenstechnischen Großanlagen. Tagungsmaterial Jahrestagung der WGMA 1982, S. 68–93.
[18] *Habiger, E.; Roland, G.:* Programmierbare nichtnumerische Steuerungen. Fortsetzungsreihe. msr, Berlin 24 (1981) 1–4 und 6–12; 25 (1982) 1–8.
[19] *Gurth, R.; Schob, D.; Wätzold, J.:* Das Bedienpult im Automatisierungssystem für verfahrenstechnische Anlagen. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 17 (1981) 1, S. 10–14.
[20] *Hartmann, H. U.; Tobian, T.; Spietschka, B.:* Automatisierung einer petrolchemischen Anlage mit dem neuen Automatisierungssystem. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 17 (1981) 1, S. 14–18.
[21] *Herpel, H.; Moltmann, B.:* Energieeinsparung durch den Einsatz einer autonomen Automatisierungseinrichtung des Systems audatec in Heizwerken. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 18 (1982) 5, S. 182–185.
[22] *Müller-Zahn, K.-H.:* Die Einrichtungen des Systems audatec für verfahrenstechnische Anlagen. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 18 (1982) 4, S. 138 bis 144.
[23] *Sawatzki, J.; Janke, L.:* Die Reserve-Basiseinheit im Automatisierungssystem audatec für verfahrenstechnische Anlagen. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 18 (1982) 4, S. 144–147.
[24] *Moltmann, B.; Stern, U.:* Einsatz einer Basiseinheit als autonome Automatisierungseinrichtung des Systems audatec in einem Stahlwerk. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 18 (1982) 2, S. 48–53.
[25] *Müller, G.:* Entwurf und Projektierung von audatec-Regelsystemen. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 19 (1983) 1, S. 2–7.
[26] *Schulz, J.:* Automatisierungssystem audatec im Heizkraftwerk Karl-Marx-Stadt Nord II. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 19 (1983) 2, S. 98–101.
[27] *Müller, G.:* Einsatz einer autonomen Automatisierungseinrichtung des Systems audatec an Siemens-Martin-Öfen. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 19, (1983) 3, S. 109–111.
[28] *Welzel, H.:* Das mikroelektronische Automatisierungssystem audatec – Aufbau, Funktion, Anwendungen. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 19 (1983) 4, S. 146–152.

(Fortsetzung auf Seite 12

P. Besch; W. Teichmann; F. Baldeweg[1])

Aktuelle Automatisierungsaufgaben und ihre Lösungsmöglichkeiten in der Energietechnik

0. Einleitung

Die höheren Anforderungen, die heute an Energieanlagen gestellt werden, machen mit der Verbesserung der Energieumwandlungsverfahren, der anlagentechnischen Komponenten und der Betriebsführung auch den Einsatz neuer Automatisierungsverfahren notwendig. Im Mittelpunkt stehen dabei die Gewährleistung der Versorgungssicherheit, die Energieökonomie, die Erhöhung der Verfügbarkeit und die Senkung des gesellschaftlichen Aufwandes. Der Stand der Theorie und die Einführung einer neuen Generation von Automatisierungsgeräten ermöglichen die Anwendung neuer Verfahren der Prozeßsteuerung, -regelung, -überwachung und -sicherung.

1. Automatisierungsaufgaben in der Energietechnik

Das Zeitalter billiger Energie ist vorbei. Die Energiewirtschaft ist weltweit durch die Verknappung und Verteuerung primärer Energieträger, durch steigende Kosten für die Errichtung neuer Anlagen gekennzeichnet.
Hauptwege zur Sicherung der Energieversorgung in der Zukunft sind

- der sparsame und rationelle Energieeinsatz in allen Bereichen
- die Substitution hochwertiger Brennstoffe, die zunehmend stoffwirtschaftlich genutzt werden, durch Energieträger geringerer Qualität
- die beschleunigte Entwicklung der Kernenergie als Hauptrichtung zur Erweiterung der energetischen Basis
- die langfristige Orientierung auf Energiequellen, die in ausreichender Menge oder unbegrenzt zur Verfügung stehen.

Mit der Errichtung und Inbetriebnahme der letzten 500-MW-Kraftwerksblöcke auf Rohbraunkohlebasis, der Erweiterung der kernenergetischen Basis durch die Einsatzvorbereitung von 1000-MW-Kernkraftwerksblöcken mit Druckwasserreaktor, der Rekonstruktion der in früheren Jahren errichteten Kraftwerksanlagen, mit der Umstellung von heizölgefeuerten Dampferzeugern auf Gas und Rohbraunkohle, dem weiteren Ausbau der Wärmeversorgung durch Wärmeauskopplung aus Kraftwerken und der Vorbereitung einer neuen Generation von Heizwerken wird der auf dem X. Parteitag der SED formulierten energiepolitischen Linie Rechnung getragen.
Dabei sind insbesondere folgende Forderungen zu erfüllen:

- Erhöhung der Verfügbarkeit der Anlagen
- Senkung energetischer Verluste und Erhöhung der Energieumwandlungswirkungsgrade
- Einhaltung der Forderungen der Anlagensicherheit und des Umweltschutzes
- Verringerung des Bedienaufwandes
- Sicherung einer ausreichenden Manövrierfähigkeit
- Sparsamer Einsatz der finanziellen und materiellen Fonds für die Vorbereitung, Errichtung, den Betrieb und die Instandhaltung der Anlagen.

Diese Aufgaben stellen auch an die Automatisierung der Anlagen hohe Anforderungen. Die Automatisierungsverfahren, die in Energieanlagen zur Prozeßüberwachung und Prozeßsicherung, zur Steuerung und Regelung angewendet werden, sind untrennbar mit dem technologischen Prozeß verknüpft, d. h., die Automatisierungseinrichtungen tragen als integraler Bestandteil der Gesamtanlage nicht unwesentlich zur Gewährleistung der geforderten Anlageneigenschaften bei.
Aus diesem Grunde wird die Anlagenautomatisierung immer mehr Bestandteil der Verfahrensentwicklung, Anlagengestaltung und Betriebstechnologie und kann nur in enger Wechselwirkung mit der Weiterentwicklung der Energieumwandlungsverfahren, dem Entwurf der maschinen- und anlagentechnischen Komponenten, der Festlegung von Vorschriften der Betriebsführung, der Konstruktion, Projektierung, Errichtung und Inbetriebnahme konzipiert und verwirklicht werden.
Durch die Entwicklung eines neuen Automatisierungsgerätesystems auf der Grundlage hochintegrierter digitaler Schaltkreise werden die funktionellen Möglichkeiten der Automatisierungsanlagen wesentlich erweitert. Kennzeichen sind dezentrale Einrichtungen zur prozeßnahen Realisierung von Automatisierungsfunktionen, neue Prinzipien der Meßwerterfassung und Signalübertragung, neue Dimensionen der Informationsverarbeitung, der Koordinierung, Bewertung und Optimierung in hierarchisch aufgebauten Funktionsebenen sowie neue Formen der Mensch-Maschine-Kommunikation durch die Möglichkeiten der Bildschirmdarstellung und der rechnergestützten Prozeßführung. Eine Aufwandssenkung wird auch bei der Projektierung und Realisierung solcher Einrichtungen erwartet. Von besonderem Interesse ist die Frage, welchen Einfluß diese Entwicklung auf die Gestaltung der technologischen Anlage, auf die Verbesserung ihrer Eigenschaften und auf die Prozeßführung hat.
Der gegenwärtige Stand theoretischer Erkenntnisse und bekannter Entwurfsmethoden gestattet, neue Automatisierungsverfahren im Hinblick auf ihre praktische Anwendung zu untersuchen und für einen Einsatz an neuen oder zu rekonstruierenden Anlagen vorzubereiten.
Aus der Vielzahl der hierbei zu lösenden Fragen sollen folgende aktuelle Aufgaben näher dargestellt werden:

1. Die Weiterentwicklung der Regelungsstruktur für den gesamten Leistungsbereich der Anlage auf der Grundlage moderner Entwurfsverfahren
2. Die Beherrschung instationärer Betriebszustände, vor allem beim An- und Abfahren, mit dem Ziel einer schonenden Fahrweise und der Gewährleistung der erforderlichen Manövrierfähigkeit
3. Die Erfassung von Betriebsstörungen sowie von Schäden an Anlagenteilen durch Diagnoseverfahren und die Ableitung geeigneter Therapiemaßnahmen.

2. Anwendung neuer Automatisierungsverfahren

2.1. *Optimierung des Betriebes im Leistungsbereich*

Die in Energiesystemen zur Elektroenergieerzeugung eingesetzten Kraftwerksanlagen haben, insbesondere in den letzten Jahren bezüglich ihrer Funktions- und Betriebsweisen, Änderungen in verschiedenen Richtungen hin erfahren. Die Einheitenleistungen der Kraftwerksanlagen sind in den vergangenen 20 Jahren um das Vier- bis Fünffache angestiegen. Damit im unmittelbaren Zusammenhang nahm der Kompliziertheitsgrad der technologischen sowie auch der konstruktiven Gestaltung von Einzel- und Gesamtanlagen spürbar zu. Der ursprüngliche Grundlastbetrieb der Anlagen war im Hinblick auf die im Energiesystem notwendige Konstanthaltung von Frequenz- und Übergabeleistung nicht mehr länger vertretbar. Die Kraftwerksanlagen müssen heute zum überwiegenden Teil im Rahmen der Primär- und Sekundärregelung eine relativ flexible Fahrweise realisieren.
Die sichere Beherrschung dieser erweiterten Forderungen war und ist unter anderem nur durch einen erheblich gesteigerten Automatisierungsumfang an den einzelnen Kraftwerksanlagen möglich. Diese Tendenz ist auch in der Praxis bemerkbar, denn mit zunehmender Einheitenleistung der Kraftwerksanlagen stieg auch die Anzahl der eingesetzten konventionellen Meß-, Regel- und Steuereinrichtungen (Tafel). Allerdings zeigen vor-

[1]) Doz. Dr.-Ing. *Peter Besch* (48) studierte von 1953 bis 1959 an der TH Dresden, Fachrichtung Kraft- und Arbeitsmaschinen. Von 1961 bis 1969 wissenschaftlicher Assistent und Oberassistent am Institut für Pumpen, Apparate und Rohrleitungsbau der TU Dresden. 1969 Promotion A. Von 1969 bis 1973 wissenschaftlicher Mitarbeiter im VEB Kombinat Kraftwerksanlagenbau. 1973 Berufung zum Hochschuldozenten an die TU Dresden, seither dort an der Sektion Energieumwandlung tätig.

Prof. Dr. sc. techn. *Wolfgang Teichmann* (55) studierte von 1953 bis 1958 an der TH Dresden, Fakultät Maschineningenieurwesen. Von 1958 bis 1970 Entwicklungsingenieur und Abteilungsleiter im Kraftwerksanlagenbau. 1969 Promotion A. Ab 1967 nebenamtlich Vorlesungen zur Regelung von Kraft- und Antriebsmaschinen an der TU Dresden. 1970 Berufung zum Dozenten und 1973 zum ordentlichen Professor für Kraftwerksautomatisierung an die IH Zittau. 1976 Promotion B.

Prof. Dr. sc. nat. *Frank Baldeweg* (47) studierte von 1954 bis 1960 an der TH Dresden. Danach im Zentralinstitut für Kernforschung Rossendorf der AdW der DDR tätig. Promotion A 1967, Promotion B 1970. Seit 1974 nebenamtlicher Hochschullehrer. 1983 Berufung zum Direktor für Forschung und Entwicklung des Kombinates Automatisierungsanlagenbau und Direktor des Institutes für Elektro-Anlagen Berlin.

Tafel. Unterschiede im Automatisierungsumfang verschiedener Kraftwerksblöcke

	KW-Block in MW 100	500
Meßtechnisch erfaßte Prozeßgrößen	395	1700 analoge 3500 binäre
Regelkreise	42	170
Funktionsgruppensteuerungen	0	80

liegende Betriebsergebnisse, daß trotz dieses erhöhten Automatisierungsumfanges gewisse Schwierigkeiten bei der Erfüllung der oben genannten Forderungen bestehen.
Offensichtlich sind z. B. die herkömmlichen Regeleinrichtungen mit PID-Charakter nur bis zu einer bestimmten Leistungsgröße der Kraftwerksanlagen in der Lage, einen zufriedenstellenden Betrieb zu gewährleisten. Erreicht die Einheitenleistung und damit der Kompliziertheitsgrad in Technologie und Gestaltung, eine maximale Grenze, überschreiten diese Betriebsbedingungen die auf ein bestimmtes Ziel ausgerichteten Möglichkeiten der konventionellen linearen Regeleinrichtungen. Ein akzeptabler Ausweg wird hier nur im Einsatz neuer und moderner Regelungsverfahren gesehen, d. h. in einer Steigerung der Qualität der Automatisierung [1].

2.1.1. Mehrgrößenregelung

Kraftwerksanlagen weisen ihrer technologischen Struktur her einen starken Vermaschungsgrad auf, d. h., sie können als ein echtes multivariables System betrachtet werden. Diese Eigenschaft läßt es angeraten erscheinen, eine Regelungsmethodik zu wählen, die diesem Umstand Rechnung trägt. Dafür ist der Einsatz von Mehrgrößenregelsystemen nach der Methode der Zustands- oder Ausgangsrückführung geeignet. Von den beiden bekannten Verfahren — „modale Regelung" bzw. „optimale Regelung" — wird allgemein die letztgenannte zur Anwendung ausgewählt. Das Verfahren der „modalen Regelung" weist zwar einen relativ ausgereiften theoretischen Stand auf, ist jedoch bezüglich seiner praktischen Einsetzbarkeit beim gegenwärtigen Entwicklungsstand für Kraftwerksanlagen wenig geeignet.
Voraussetzung für den Entwurf der „optimalen Regelung" ist ein nichtlineares Prozeßmodell, für dessen Erstellung die theoretische Prozeßanalyse als einzige Modellbildungsmethode geeignet ist, Modelle im Zustandsraum während des Projektstadiums der Kraftwerksanlage zu entwickeln. Die bisher für den Entwurf von Eingrößenregelungen gebräuchlichen Modelle sind für den Aufbau derartiger Mehrgrößenregelsysteme nicht bzw. nur bedingt geeignet. Die notwendige Überprüfung des nichtlinearen Modellansatzes erfolgt durch Simulation des linearen Modells, Berechnung von stationären Endwerten, modale Analyse, Auswertung der Matrizen der linearisierten Modelle und Simulation des nichtlinearen Modells. Die zum Entwurf der Mehrgrößenregelung benötigten linearen Modelle an diskreten Arbeitspunkten lassen sich zweckmäßig durch numerische Linearisierung gewinnen. Der Entwurf der optimalen Regelung erfolgt nach den Bearbeitungsschritten

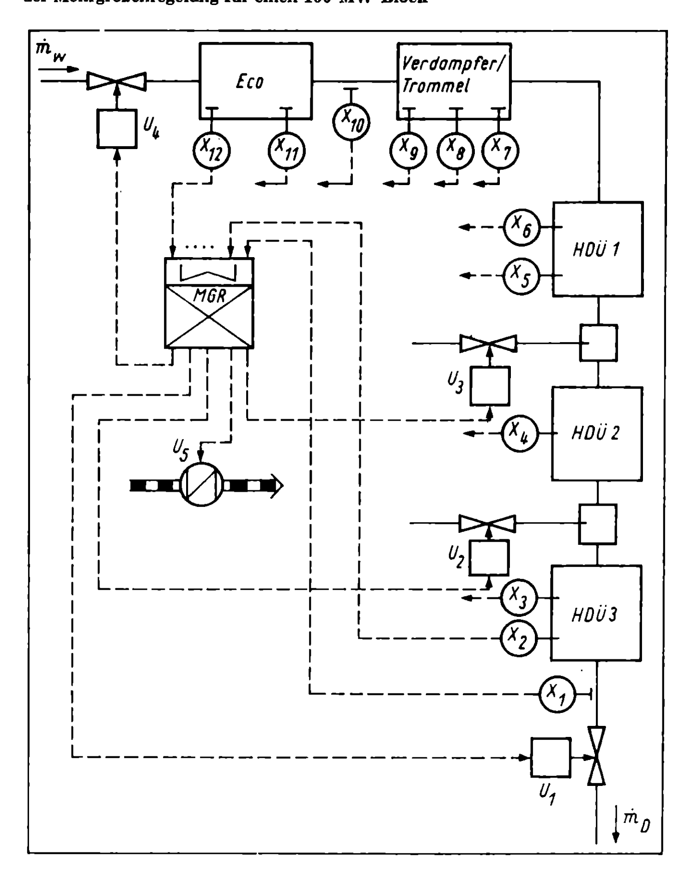
- Festlegung der Bewertungsmatrizen
- Lösung der Riccati-Gleichung und Ermittlung des Regelgesetzes
- Überprüfung des Entwurfsergebnisses durch Simulation des geregelten Modells.

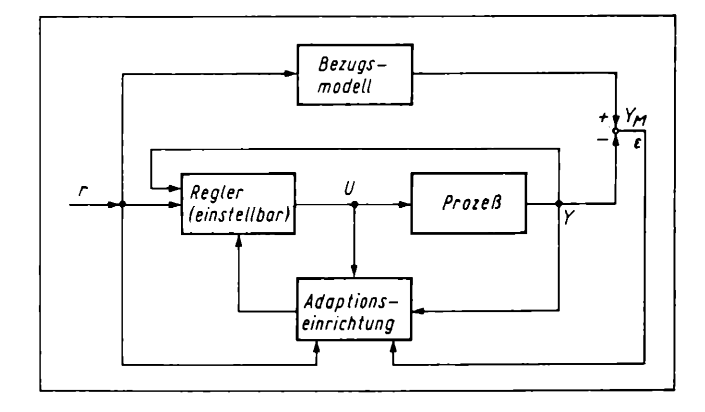
Für verschiedene Lastpunkte im Regelbereich werden optimale Regelungsstrukturen und -parameter ermittelt. Anhand der Ergebnisse wird der Lastpunkt, an dem das im Gültigkeitsbereich des Modells am besten regelnde Gesetz gefunden ist, als „quasioptimal" für den gesamten Regelbereich festgelegt. Die sich einstellenden Fehler bei Abweichung von diesem als optimal erkannten Lastpunkt während des Betriebes bewegen sich in vertretbaren Grenzen. Parameteränderungen in den dynamischen Kennwerten des Modells wirken sich sowohl auf die Modellelemente als auch auf die Eigenwertverteilung und die Zeitantworten des ungeregelten Modells aus. Die Regelgüte der optimalen Regelgesetze erweist sich gegenüber diesen Parameteränderungen als wenig empfindlich [2].
Zum Zwecke des Nachweises der praktischen Anwendbarkeit dieser Regelungsmethodik wurden umfangreiche theoretische Untersuchungen durchgeführt und dabei Daten eines 100-MW-Kraftwerksblockes zugrunde gelegt (Bild 1). Für den Dampferzeuger liegt der Entwurf einer „optimalen Regelung" vor. Über Ergebnisse und Erfahrungen bei der Entwicklung und beim praxisbezogenen Entwurf der Mehrgrößenregelungskonzeption wird in [3] berichtet. Insgesamt ist bezüglich der zu erwartenden Vorteile beim Einsatz derartiger strukturoptimierter Regelungskonzepte an Kraftwerksanlagen anhand der vorliegenden Simulationsergebnisse einzuschätzen, daß Belastungsänderungen im Leistungsbereich wesentlich schneller ausgefahren werden können. Dabei liegen die Abweichungen der wichtigsten technologischen Parameter im Übergangsprozeß erheblich niedriger als beim Betrieb mit parameteroptimierten Eingrößenregelungen. Es scheint also möglich zu sein, die zulässigen Betriebskennwerte näher an die maximalen Grenzwerte, z. B. der Materialfestigkeit, heranzuführen, wodurch sich eine stabilere Fahrweise und eine Verbesserung des spezifischen Wirkungsgrades der Kraftwerksanlagen erreichen läßt.

2.1.2. Adaptive Regelung

Bereits viele Jahre wird der Einsatz adaptiver Regelungsverfahren zur Verbesserung des Regelverhaltens auch an Kraftwerksanlagen diskutiert. In der Vergangenheit scheiterte ihre praktische Anwendung im wesentlichen an der erforderlichen aufwendigen und komplizierten gerätetechnischen Lösung. Durch die Fortschritte auf dem Gebiet der Mikroelektronik lassen sich mit Hilfe relativ billiger Mikroprozessoren und Mikrorechner heute auch derartige anspruchsvolle Regelalgorithmen mit ökonomisch vertretbarem Aufwand besser realisieren.
Durch adaptive Regelungssysteme kann eine Verminderung oder sogar ein Ausgleich der Einflüsse von Prozeßparameteränderungen auf das statische und dynamische Verhalten geregelter Systeme erreicht werden. Derartige Erscheinungen treten an konventionellen sowie an Kraftwerksanlagen häufig auf. Ursachen für derartige Parameteränderungen sind z. B. Alterung, Verschmutzung oder Verschleiß von Baugruppen oder Teilanlagen bzw. Arbeitspunktverschiebungen während der An- und Abfahrvorgänge sowie bei großen Laständerungen.
Aus der Literatur sind eine große Anzahl von Varianten adaptiver Regelungsverfahren bekannt. Bei genauer theoretischer Untersuchung lassen sich gewisse gemeinsame Merkmale erkennen und eine Klassifizierung vornehmen. Nachfolgend sollen zwei Methoden vorgestellt werden, die auch hinsichtlich ihres Einsatzes an Kraftwerksanlagen untersucht wurden.
Die modelladaptive Regelung ist in ihrem grundsätzlichen Wirkungsablauf im Bild 2 dargestellt. Das geforderte Übertragungsverhalten des Grundregelkreises bezüglich eines Referenzsignales r wird in Form eines Bezugsmodells spezifiziert. Die Ausgangssignaldifferenz ε wird einer Adaptionseinrichtung zugeführt, die die Regelparameter in geeigneter Weise verstellt. Ziel dieser Verstellung ist, das Fehlersignal ε für alle Referenzsignale r möglichst zu Null zu machen. Dieses Verfahren wurde

Bild 1. Schematische Darstellung der Mehrgrößenregelung für einen 100-MW-Block





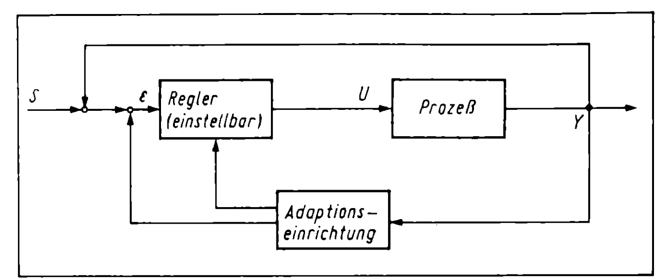


Bild 2. (links) Schematischer Aufbau einer modelladaptiven Regelung (nach [4])

Bild 3. (rechts) Schematischer Aufbau einer adaptiven Regelung nach dem analytischen Suchverfahren

versuchsweise in der Energiewirtschaft zur Regelung von Wärmeübertragern, zur Lastregelung in Kernkraftwerken und zur Spannungsregelung von Synchrongeneratoren eingesetzt [4].
Am Lehrstuhl „Automatisierung wärmetechnischer Prozesse" des Moskauer Energetischen Instituts wurde ein adaptives Regelungsverfahren entwickelt, das als analytische Suchmethode bezeichnet wird. Im Bild 3 ist die grundsätzliche Funktionsweise dargestellt. Dem zu regelnden Objekt wird ein definiertes Signal s aufgeschaltet (im speziellen Fall eine Sinusschwingung). Das verschliffene Ausgangssignal wird analysiert, und mit Hilfe eines Näherungsmodells werden für den Regler zweckmäßige Einstellparameter ermittelt. Es handelt sich also um einen Iterationsvorgang, wobei Länge und Richtung eines jeden Schrittes analytisch bestimmt werden. Dabei wird bei jedem Schritt das Näherungsmodell eingeschätzt und gegebenenfalls korrigiert. Diese Methode wurde ursprünglich für die Ersteinstellung von Regelparametern an Dampferzeugern entwickelt. Inzwischen sind gute Ergebnisse bei der Optimierung von Regeleinrichtungen für Kraftwerksblöcke mit einer Leistung von 800 MW erzielt worden [5].

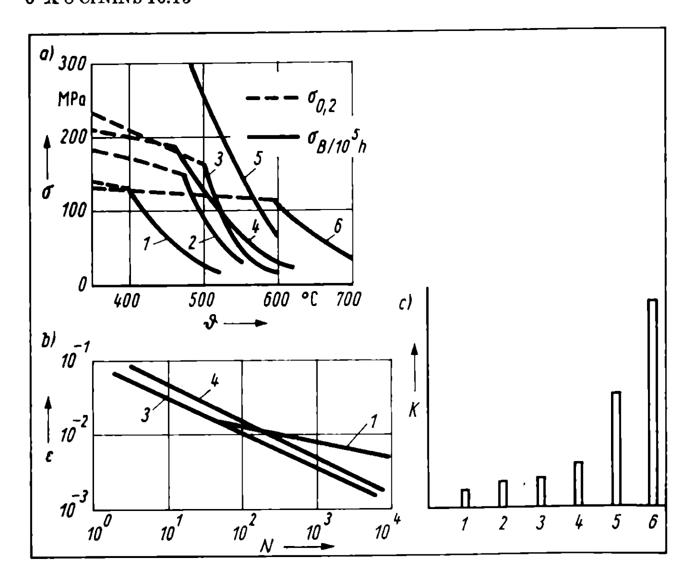
2.2. *Prozeßführung in instationären Betriebszuständen*

Eine Analyse der beim Betrieb von Großkraftwerken auftretenden Probleme zeigt, daß die Verfügbarkeit, die Lebensdauer, die energetischen Verluste und der erforderliche Bedienaufwand in erster Linie von Betriebszuständen beeinflußt werden, die vom stationären Leistungsbetrieb abweichen [6].
Bei instationären Betriebszuständen, wie An- und Abfahrvorgängen, großen Leistungsänderungen, Störungen infolge Aggregatausfällen und Havarien werden erfahrungsgemäß die höchsten Anforderungen an das Bedienpersonal gestellt und Anlagen- und Bauteile oft über die zulässigen Festigkeitswerte hinaus beansprucht. Es zeigt sich auch, daß durch Bedienfehler infolge des in kritischen Situationen nicht ausreichenden Überblicks über die technologischen Zusammenhänge Folgeschäden mit erheblichen Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit und die Energieökonomie auftreten.
Die Beherrschung instationärer Vorgänge erfordert

- einen tiefen Einblick in prozeßtechnologische Vorgänge, die durch die theoretische und experimentelle Prozeßanalyse gewonnen werden müssen
- eine auf diese Betriebsfälle zugeschnittene Anlagengestaltung (wärmetechnische Schaltung, Reserveaggregate, Dimensionierung der Bauteile, Werkstoffwahl usw.)
- die Entwicklung von Automatisierungsverfahren und ihre gerätetechnische Realisierung durch Einrichtungen für die Prozeßüberwachung, Prozeßsicherung, Steuerung, Regelung und den Schutz unter Nutzung von Diagnoseverfahren, der Displaytechnik und rechnergestützter Führungshilfen
- darauf aufbauende Vorschriften der Prozeßführung.

Ein wichtiges Kriterium für eine ordnungsgemäße, d. h. zeitgünstige und zugleich materialschonende Prozeßführung in instationären Betriebsbereichen ist die Bauteilbeanspruchung. Hohe zulässige Änderungsgeschwindigkeiten gestatten das schnelle Erreichen der angestrebten stationären Betriebszustände, verringern die Möglichkeit des Eintretens von Betriebsstörungen, deren Wahrscheinlichkeit vor allem in instationären Bereichen hoch ist, und tragen zur Senkung energetischer Verluste bei. Andererseits müssen mit Rücksicht auf die hohen Kosten hochwertiger warmfester Werkstoffe Grenzen für die Beanspruchung der hochbelasteten Bauteile vorgegeben werden. Solche Grenzen werden u. a. durch die Zeitstandfestigkeit, die Dehnungswechselfestigkeit und die Temperatur gesetzt (Bild 4). Es sind vor allem die dickwandigen Bauteile, wie Turbinengehäuse und Rotor, Heißdampf-Sammler, Abscheideflasche, HD-Rohrleitungen und Armaturen zu überwachen, da die Wärmespannungen dem Quadrat der Wandstärke und der Temperaturänderungsgeschwindigkeit proportional sind. Spannungen, die durch den Innendruck in den Bauteilen hervorgerufen werden, überlagern sich den Wärmespannungen. Neben dem Druck müssen sowohl Dampf- als auch Metalltemperaturen der als gefährdet angesehenen Bauteile meßtechnisch erfaßt werden. Die Berechnung der Spannungen, die Ermittlung zulässiger Werte und die Bildung von Spannungsfreibeträgen erfolgt mit Programmbausteinen, die prozeßnah den anlagenbezogenen Automatisierungsebenen zugeordnet werden (Bild 5). Während für die Turbine daraus unmittelbar Freibeträge für die Turbinenleistung gebildet werden können, ist die Berechnung von Sollwertvorgaben für die Vielzahl der Regelgrößen des Dampferzeugers schwieriger. Zunächst können Freibeträge für Temperatur- und Massenstromänderungen berechnet werden, die bereits wichtige Hilfsmittel für die Prozeßführung des Dampferzeugers darstellen [7]. Ein Vergleich der meßtechnisch bestimmten Spannungen in den Bauteilen mit den temperatur- und zeitabhängigen Werkstoffkennwerten zeigt auch, daß Überschreitungen der Grenzkurven zu Lebensdauereinbußen führen. Als Maß für diese Lebensdauereinbuße kann aus der Anzahl und Zeitdauer dieser Grenzwertüberschreitungen und der Anzahl der aufgetretenen Lastwechsel ein Ermüdungsgrad gebildet werden. Obwohl werkstoffbezogene Lebensdauerangaben nur statistische Mittelwerte von unter Laborbedingungen geprüften Werkstoffproben darstellen, sind eine Erfassung der Werkstoffermüdung und die Abschätzung von Auswirkungen auf die Verkürzung der Lebensdauer wichtige Hilfsmittel für die Einsatzplanung und die Instandhaltungsstrategie.
Neue Anlagen in Großkraftwerken werden z. Z. mit derartigen Einrichtungen ausgerüstet [8] bis [10].
Führungshilfen für das Bedienpersonal stellen einen bedeutenden Beitrag für die Erhöhung der Versorgungssicherheit, der Brennstoffausnutzung und auch der Nutzungsdauer von Kraftwerkseinheiten dar. Eine Erhöhung des Automatisierungsgrades durch direkten Eingriff dieser Einrichtungen in die Steuerung und Regelung rückt damit in den Bereich des Möglichen

Bild 4. Festigkeitskennwerte von DE-Baustählen und Turbinenwerkstoffen
a) Zeitstandfestigkeit; b) Dehnungswechselfestigkeit; c) Kostenverhältnis
1 St 45-5; 2 15 Mo3; 3 13 CrMo 4.4; 4 10 CrMo 9.10; 5 X 20 CrMo12.1; 6 X 8 CrNiNb 16.13



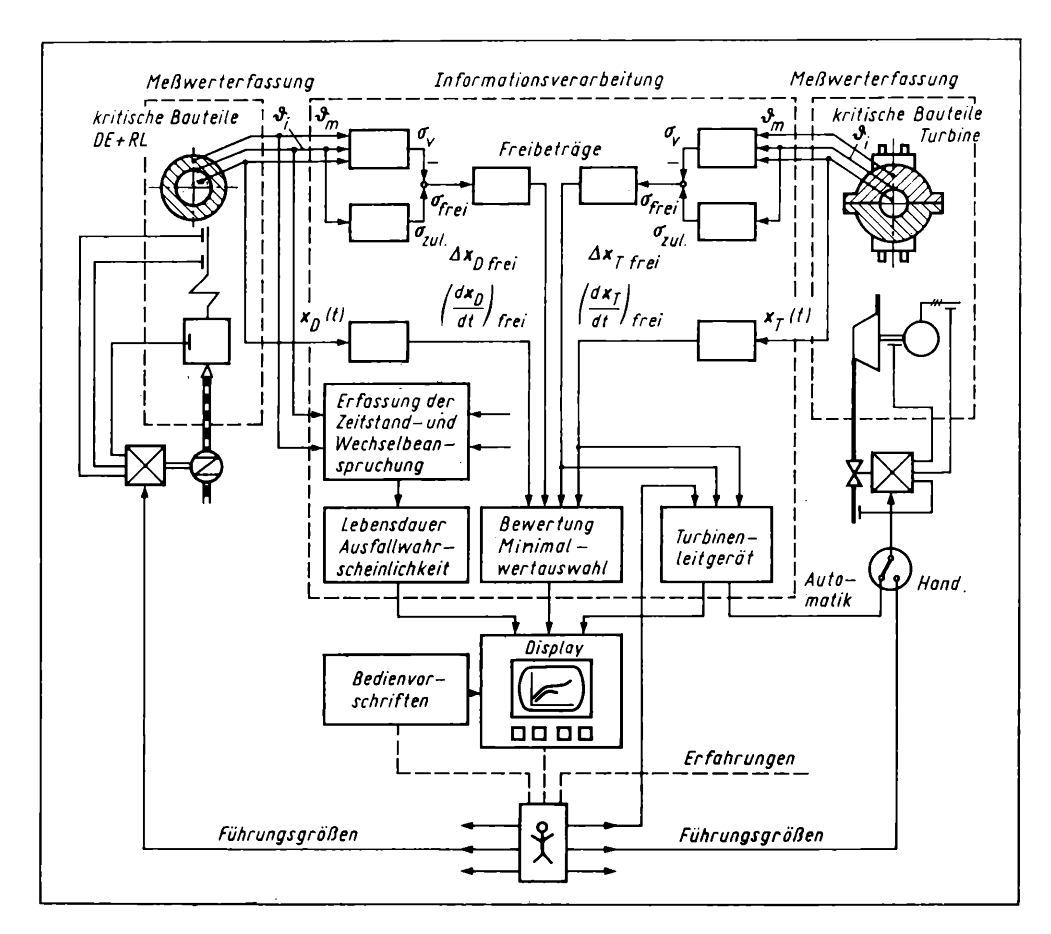


Bild 5. Bauteilüberwachung und Führungshilfen durch Erfassung von Spannungsfreibeträgen

und wird für den Turbinenbetrieb auch schon praktiziert (Turbinenleitgeräte). Weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind notwendig.

2.3. Prozeßüberwachung und Prozeßsicherung

Prozeßüberwachung und Prozeßsicherung sind informationelle Teilprozesse der Prozeßführung technologischer Anlagen; ihre Zielstellung ist der sichere und wirtschaftliche Betrieb. Prozeßüberwachung kann dabei durchaus als Teilprozeß der Prozeßsicherung verstanden werden. Charakteristikum ist das Vorhandensein einer Mensch-Maschine-Schnittstelle [11]. Traditionelle Systeme und Verfahren der Prozeßüberwachung integrieren Abschaltsysteme und Verriegelungssteuerungen; sie nutzen den Leitstand oder die Warte, deren wesentliches Kennzeichen eine weitestgehend parallele Anzeige und Bedienung ist.
Mit der Entwicklung der modernen digitalen Automatisierungstechnik sind anspruchsvolle Formen der Prozeßüberwachung und -sicherung entstanden; sie gehen in ihrer Kompliziertheit über die bislang in konventionellen Automatisierungssystemen realisierten Funktionen der Erfassung, Darstellung, Steuerung, Regelung hinaus. Dazu gehören spezielle Formen der Diagnose, insbesondere auch der Echtzeitdiagnose, z. B. die Störablaufanalyse, die Alarmanalyse, die Störungsanalyse, die Rauschanalyse. Gleichzeitig damit sind aber auch Voraussetzungen für anspruchsvolle Formen der Therapiesteuerung vorhanden, d. h. von Mechanismen zur Abwendung und Beseitigung von Störungen.
Kennzeichen dieser Formen der Prozeßüberwachung und -sicherung ist ihre Zugehörigkeit zu höheren Hierarchieebenen, wenn man für die Menge informationeller Prozesse der Prozeßführung eine Mehrebenenmodellierung gemäß Bild 6 wählt. Wird diese Modellierung auf konkrete Systeme, z. B. im Bereich der Kernkraftwerke, übertragen, so ist ersichtlich, daß die genannten Verfahren in das Sicherheitssystem 2. Ordnung einzuordnen wären. Die Anwendung höherer Formen der Prozeßüberwachung und -sicherung erfordert eine leistungsfähige digitale Automatisierungstechnik. Leistungsfähigkeit muß dabei unter den folgenden drei Gesichtspunkten betrachtet werden:

- *Funktioneller Aspekt*; für die Lösung von Entscheidungssituationen sind spezielle informationelle Operationsstrukturen erforderlich; z. B. sind für das Erkennen einer Störung, ihre Bewertung, Analyse und das Ermitteln von Maßnahmen zur Abwehr der Störungen spezifische Algorithmen notwendig; es muß zudem der Zugriff auf Datenbasen gewähr-

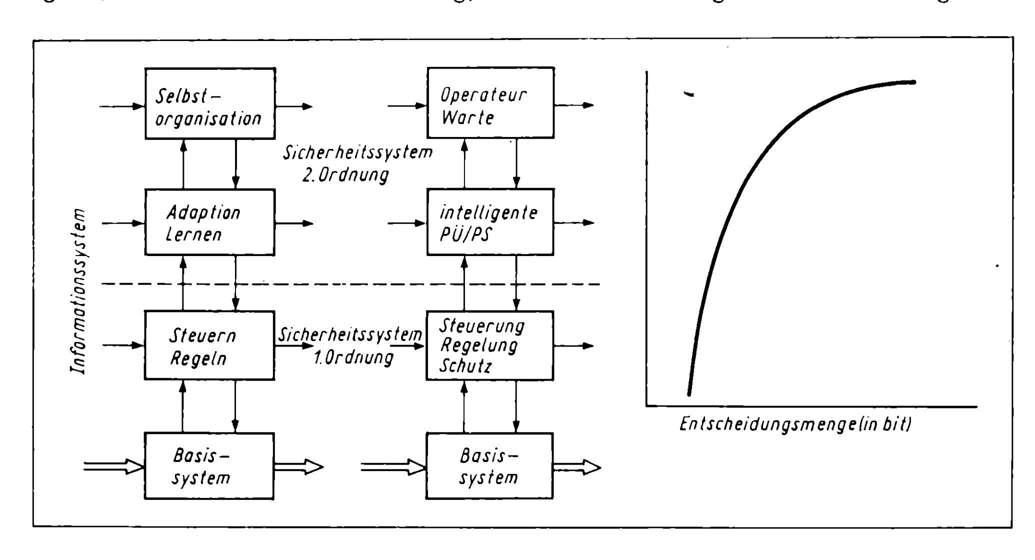


Bild 6. Mehrebenenmodellierung der Prozeßsicherung/Prozeßüberwachung in Kernkraftwerken

leistet sein, die das entsprechende technische und technologische Wissen enthalten.
- *Technischer Aspekt*; die informationellen Operationsstrukturen werden mit Hilfe einer spezifischen Geräte- und Programmtechnik, die die Meß- und Stelltechnik sowie angepaßte Mensch-Maschine-Schnittstellen (Steuerpult, Warte, Leitstände) einschließt, realisiert. Zur gegenwärtig leistungsfähigsten Technik gehören hierarchisch strukturierte dezentrale Automatisierungssysteme, die den bildschirmorientierten Prozeßdialog gestatten.
- *Ergonomischer Aspekt*; die Prozeßführung integriert den Menschen (Operateur), d. h., sie ist an ein effektives Zusammenspiel von Mensch und technischer Anlage gebunden. In die Lösung des Mensch-Maschine-Schnittstellenproblems gehen demzufolge technische, funktionelle und ergonomische (physiologische, psychische, soziologische u. a.) Forderungen ein.

Unter den Verfahren der Prozeßüberwachung und -sicherung finden Echtzeitdiagnoseverfahren, z. B. die Störungsanalyse, verstärktes Interesse [12]. Die Störungsanalyse ist ein Echtzeitdiagnoseverfahren mit den Teilfunktionen:
- Erfassen, Erkennen und Bewerten von Störungen
- Ermitteln von Ursachen und möglichen Folgeerscheinungen dieser Störungen
- Bereitstellen eines Menüs von Therapiemaßnahmen.

Sie ist damit ein wirksames Hilfsmittel für den Anlagenfahrer. Das Schema eines Echtzeitdiagnosesystems zeigt Bild 7.
Störungsanalyse ist ein wissensbezogenes Verfahren, d. h., sie basiert auf Modellen der technologischen Anlage (Modell-Datenbasis) und weiterem für die Diagnose erforderlichem Wissen. Das im ZfK Rossendorf in Entwicklung befindliche System SAAP (Störungsanalyse-Applikationsprogramm) nutzt den Ereignisgraphen als Modellnotation. Die Knoten dieses Graphen werden durch Mengen von Ereignissen belegt, die sich u. a. aus Primärsignalen und weiterverarbeiteten Signalen (deterministisch, stochastisch) ergeben. SAAP umfaßt das Zusammenspiel der Teilprozesse: automatische, interaktive, Off-line-Diagnose. Es orientiert auf eine leistungsfähige Mensch-Maschine-Schnittstelle. Für bestimmte in die interaktive Diagnose und die Off-line-Modellentwicklung eingelegte Prozesse werden Hilfsmittel der Künstlichen Intelligenz genutzt, z. B. Darstellung und Reproduktion von Wissen, Problemlösen u. a. [12].
In dem Konzept von SAAP wird u. a. der Trend in der Entwicklung der Verfahren zur Prozeßüberwachung und -sicherung sichtbar:
- Vertiefen des technologischen und technischen Wissens durch System-/Prozeßanalyse
- Verbesserung der Kommunikation zwischen Mensch und Anlage (z. B. durch Einbeziehen sprachlicher Hilfsmittel)
- Systematisches Verschieben der Grenzen zwischen automatischen Verfahren der Prozeßsicherung und denen unter Einbeziehung des Menschen durch Nutzung von Methoden der Künstlichen Intelligenz.

Diese Entwicklung wird zwangsläufig durch Trends in der Informationstechnologie (Geräte, Bauelemente), durch die Entwicklung sprachlicher Konzepte zur Notation von Entwurfs- und Bedienvorschriften, durch Erhöhung der Zuverlässigkeit der Automatisierungssysteme, ihrer Funktion u. dgl. beeinflußt.

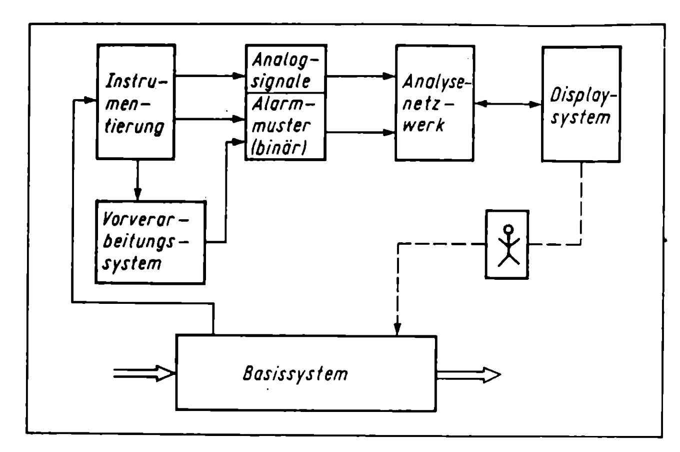


Bild 7. Schema eines Prozeßüberwachungssystems am Kernkraftwerk (nach [11])

Zusammenfassung

Die Notwendigkeit, Gebrauchsenergie auch unter komplizierter werdenden Bedingungen zur Verfügung zu stellen, erfordert die Entwicklung und Anwendung qualitativ neuer Verfahren der Energieumwandlung, ihrer anlagentechnischen Realisierung, ihrer Betriebsführung und Automatisierung. Dabei müssen in immer stärkerem Maße auch die Erkenntnisse auf dem Gebiet der Automatisierungstheorie genutzt werden, die unter den Begriffen **optimale Regelung, adaptive Systeme, instationäre Prozesse** und **hierarchische Strukturen** bekannt geworden sind. Die Anwendung dieser Verfahren erfordert jedoch neben geeigneten Gerätesystemen die enge Verflechtung der Regelungstheorie mit der Lösung prozeßtechnologischer Fragen.

Literatur

[1] *Teichmann, W.*: Bemerkungen zur Erhöhung des Automatisierungsgrades an Kraftwerksanlagen. Energietechnik 30 (1980) 1, S. 23–27.
[2] *Rösel, G.-S.; Röder, H.-W.*: Modellbildung und Entwurf von Mehrgrößenregelungen für Dampferzeuger. Dissertation A, Ingenieurhochschule Zittau 1979.
[3] *Rähder, Ch.; Reiche, A.; Lehmann, G.*: Bemerkungen zum Einsatz einer Mehrgrößenregelung an einem Großdampferzeuger. msr, Berlin 27 (1984) (In Vorbereitung)
[4] *Martin, E.; Billerbeck, G.*: Wirkungsweise und Anwendungsmöglichkeiten modelladaptiver Regelsysteme. Wiss. Berichte der TH Zittau Nr. 384 (1982), S. 162–170.
[5] *Rotatsch, V. J.*: Angewandte Verfahren der Optimierung von Steuersystemen technologischer Prozesse. Vortrag zur V. Wissenschaftlichen Konferenz der IH Zittau 1979.
[6] *Besch, P.; Ludwig, H.; Löffler, Ch.*: Gegenwärtiger Stand und weitere Entwicklung der Kraftwerksautomatisierung in der DDR. Energietechnik 32 (1982) 4, S. 113–116.
[7] *Besch, P.; Schlecht, M.*: Führungshilfen für den Betrieb von Dampferzeugern bei instationären Betriebszuständen. msr, Berlin 27 (1984) 1, S. 33–35.
[8] *Grabig, J.; Göhlert, B.*: Betriebsführung und Lebensdauerüberwachung von Kraftwerksanlagen mittels Prozeßrechentechnik, dargestellt am Beispiel der Hauptdampfleitungen des 500-MW-Blockes. OIK-Informationen (1982) H. 114, S. 45–58.
[9] *Johannsen, D.; Gasse, H. J.; Wachsmuth, G.; Kierey, F.*: Mikrorechnergesteuertes Farbdisplay zur Darstellung und Bewertung von Prozeßführungsbedingungen am 500-MW-Block. Energietechnik 32 (1982) 12, S. 452–455.
[10] *Wähner, H.*: Turbinenleitrechner auf Mikroprozessorenbasis zur thermischen Überwachung von Dampfturbinen. Vortrag zum XV. Kraftwerkstechnischen Kolloquium der TU Dresden 1983.
[11] *Brack, G.; Baldeweg, F.*: Zu Fragen des Entwurfs von Systemen der Prozeßsicherung und Prozeßüberwachung. msr, Berlin 23 (1980) 1, S. 19–25.
[12] *Baldeweg, F.; Fiedler, U.*: Dialogorientierte Analyse von Ereignisgraphen – ein Verfahren zur Diagnose komplexer technologischer Anlagen. msr, Berlin 25 (1982) 3, S. 126–128.

msr 7964

Fortsetzung von Seite 7)

[29] *Brandt, W.*: Leistungsfähige Mikroelektronik in kontinuierlichen Warmwalzwerken. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 18 (1982) 2, S. 75–79.
[30] *Müller, G.*: Entstehungshierarchie einer Automatisierungsanlage mit dem Automatisierungssystem audatec. msr, Berlin 26 (1983) 1, S. 22–24.
[31] *Blanke, W.*: Die Unterstation U 800 des Gebäudeautomationssystems GAA 5000. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 17 (1981) 1, S. 66–69.
[32] *Ehlert, H.; Grothe, W.; Hytry, K.; Wanitschek, J.*: Industrielle Versuchsanlage zur Pressenautomatisierung unter Einsatz eines Mehrrechner-Systems. Wiss.-techn. Inf. des KAAB 18 (1982) 3 Seite 86–90.
[33] *Ehlert, H.; Drutkowski, D.; Würdisch, H.*: GAA 5000 – ein neues System von Gebäudeautomatisierungsanlagen. msr, Berlin 25 (1982) 1, S. 7–13.
[34] *Obenhaus, G.; Hellmuth, G.*: Struktur des Automatisierungssystems ursatron 5000. impuls 22 (1982) 4, S. 144–153.
[35] *Fuchs, H.; Plöckinger, W.*: Weiterentwicklung des Systems ursamat unter dem Einfluß der Mikroelektronik. msr, Berlin 24 (1981) 4, S. 211–216.
[36] *Wilke, H.*: Speicherprogrammierbare Steuereinrichtung ursalog 5020. impuls 23 (1983) 1, S. 5–10.
[37] *Wilke, H.*: Programmierung und Inbetriebnahme der speicherprogrammierbaren Steuereinrichtung ursalog 5020. impuls 23 (1983) 1, S. 11–17.
[38] *Schmidt, P.*: Weiterentwicklung der elektronischen Regelgeräte durch Anwendung der Mikroelektronik, Teil 1. impuls 21 (1981) 2, S. 70–78.
[39] *Schmidt, P.*: Weiterentwicklung der elektronischen Regelgeräte durch Anwendung der Mikroelektronik, Teil 2. impuls 21 (1981) 3, S. 107–112.
[40] *Rieger, P.*: Beitrag zur rechnergestützten Anwendungsvorbereitung und Inbetriebnahme von Mikrorechnerreglern. Dissertation B, TU Dresden 1983.
[41] *Müller, W.-R.*: Konzept eines freiprogrammierbaren Mikrorechnerreglers und die Realisierung seiner Softwarekomponenten. Dissertation A, TU Dresden 1983.
[42] *Hiekel, H.*: Mehrkanal-Mikrorechnerregler – Strukturentwurf, Softwareentwicklung, Erprobung. Dissertation A, TU Dresden 1983.

msr 7960

H. Stange; F. Schmidt[1])

Anwendung der peripheren Antriebstechnik bei Hartkaramellenverpackungsmaschinen am Beispiel der gesteuerten Packmittelzuführung

0. Einleitung

Der derzeitige Stand der Antriebstechnik bei Verarbeitungsmaschinen und insbesondere bei Süßwarenverpackungsmaschinen ist wesentlich durch den Einsatz zentraler Strukturen mit relativ aufwendigen mechanismentechnischen Baugruppen zur Leistungs- und Informationsübertragung gekennzeichnet. Im Rahmen von Konzeptionen zur Entwicklung einer neuen Generation von Hartkaramellenverpackungsmaschinen ist die Anwendung gesteuerter peripherer Antriebe in größerem Umfang als bisher vorgesehen. Aus dem sich ergebenden Lösungsfeld werden an der TU Dresden am Wissenschaftsbereich Verarbeitungsmaschinen im Rahmen der Vertragsforschung für den VEB Verpackungsmaschinenbau Dresden des Kombinates NAGEMA für ausgewählte Fallbeispiele zur Realisierung verarbeitungstechnischer Aufgaben Anwendungsbereiche elektromechanischer Energiewandler untersucht. Dabei stehen u. a. Schrittmotoren wegen ihrer Fähigkeit, digitale elektrische Eingangssignale direkt in eine Folge von Winkelschritten als Ausgangssignal zu wandeln, zusammen mit mikroelektronischen Steuerungen im Vordergrund.

1. Antriebstechnische Bedingungen für den Packmitteltransport

Für intermittierend arbeitende Hartkaramellenverpackungsmaschinen bietet sich für die Zuführung des Verpackungsmittels mit geringem Vorfertigungsgrad und den damit verbundenen umfangreichen Steuerungsanforderungen der Einsatz eines elektrischen Schrittantriebes in modifizierter Form an (Bild 1). Die für Verarbeitungsmaschinen charakteristischen Antriebsanforderungen ergeben sich aus den hohen Maschinentaktzahlen sowie den dynamischen Belastungen durch die Massenkräfte. Im Vordergrund bei der Erfüllung der Aufgabenstellung steht vor allem eine hohe Produktivität (Taktzahl) und weniger, wie bei anderen Positionieraufgaben, die Positioniergenauigkeit.
Der sogenannte Papiertisch einer Hartkaramellenverpackungsmaschine hat die Aufgabe, einen Packmittelabschnitt definierter Länge innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls der Grundmaschine zur Weiterverarbeitung mit Hilfe eines geeigneten Abzugsorgans zuzuführen. Dabei kann das Packmittel von einer oderzwei Packmittelrollen (Bobinen) abgezogen werden. Außerdem müssen Signale zur Leertaktabschaltung und Druckmarkenzentrierung verarbeitet werden.

---

[1]) Dr.-Ing. *Helmut Stange* (44) studierte von 1957 bis 1963 Schwachstromtechnik/Elektroakustik an der TU Dresden. Anschließend wissenschaftlicher Mitarbeiter am WB Verarbeitungsmaschinen der Sektion Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik der TU Dresden. 1972 Promotion A. Dort heute wissenschaftlicher Assistent mit Arbeiten zur Maschinenmeßtechnik und zur Modellierung und Steuerung von Antrieben.

Dipl.-Ing. *Fritz Schmidt* (28) studierte von 1976 bis 1980 Verarbeitungsmaschinenkonstruktion an der TU Dresden. Seither als Forschungsingenieur am WB Verarbeitungsmaschinen der Sektion Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik der TU Dresden in der Vertragsforschung für das Kombinat NAGEMA tätig.

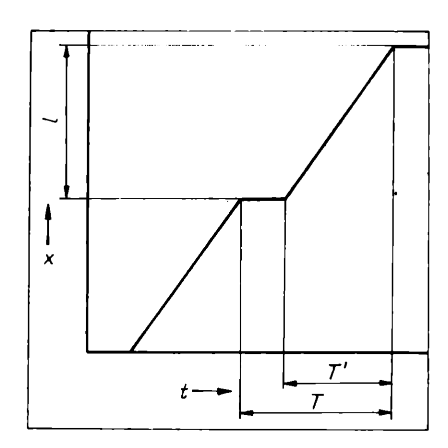


Bild 2. Kinematische Antriebsbedingungen
Taktzahl: 450...650 AT/min; Abzugszeit T': 96...66 ms; Abschnittslänge: 60...120 mm

Eine Lösung mit peripherer Antriebstechnik soll dazu beitragen, das bisherige Prinzip mit abhebender Oberwalze wegen der damit verbundenen Beanspruchung der Arbeitsorgane und Packmittelbahn durch ein Verfahren mit sich ständig im Eingriff befindlichen Walzen abzulösen.
Die Einordnung des Bewegungszyklus des Schrittantriebes in das festkörpermechanisch vorgegebene Arbeitsdiagramm der Grundmaschine stellt eine wesentliche Randbedingung dar (Synchronisation). Im speziellen Anwendungsfall beträgt der verfügbare Bewegungsanteil für den Abzug T' etwa 72% der Taktzeit T (Bild 2). Die mittlere Abzugsgeschwindigkeit v des Packmittels ergibt sich aus:

$$v = \frac{l}{T} \tag{1}$$

zu

$$v = (0{,}45 \ldots 1{,}30)\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\,.$$

Die erforderlichen Leistungsparameter lassen sich aus den kinematischen Anforderungen sowie den dynamischen Belastungen durch Massenträgheitsmomente Θ, Reibmoment M_R und Bahnspannungskraft F_L des Packmittels ableiten.
Die erforderliche mechanische Leistung ergibt sich überschläglich zu

$$P_m = \frac{\Theta}{2}\,\omega^2 \cdot \frac{1}{\Delta t} + M_l \cdot \omega\,. \tag{2}$$

Wird mit einem linearen Anstieg und Abfall der ω-Funktion innerhalb eines Bewegungszyklus gerechnet, so erhält man

$$P_m = \frac{\Theta}{T'}\,\omega_M^2 + M_L \omega_M \tag{3}$$

mit

$$\Theta = \Theta_M + \Theta_L \tag{4}$$

$$M_L = F_L \cdot r + M_R \tag{5}$$

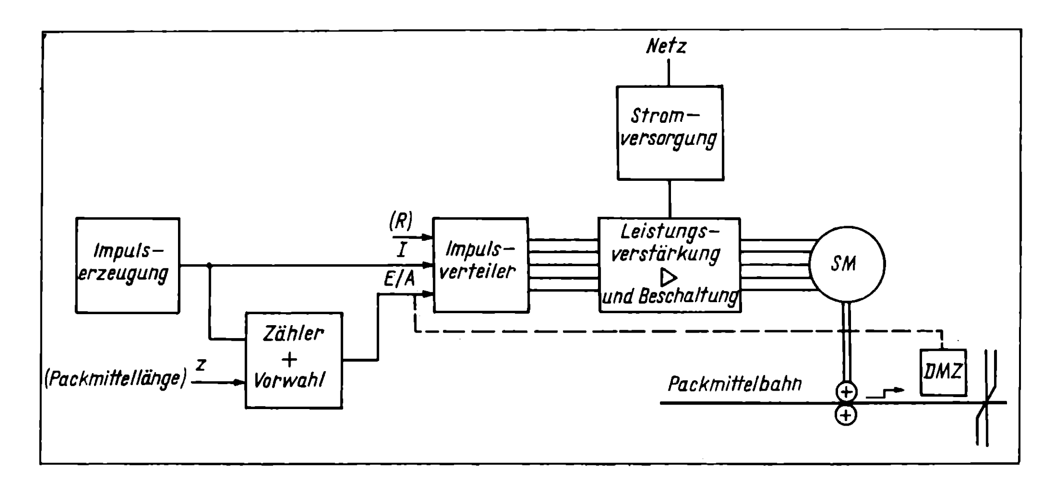


Bild 1. Schrittmotorantrieb am Packmittelabzug

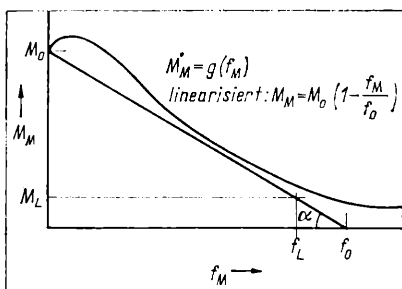




Bild 3. Drehmoment-Frequenz-Grenzkennlinie eines Schrittantriebes

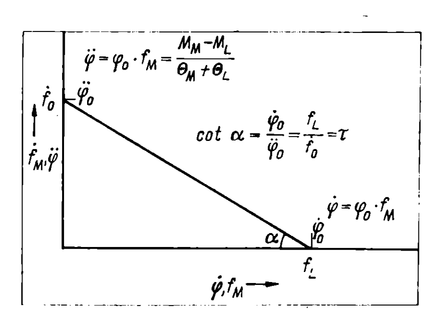


Bild 4. Darstellung der linearisierten Betriebskennlinie eines Schrittantriebes als Phasenkurve

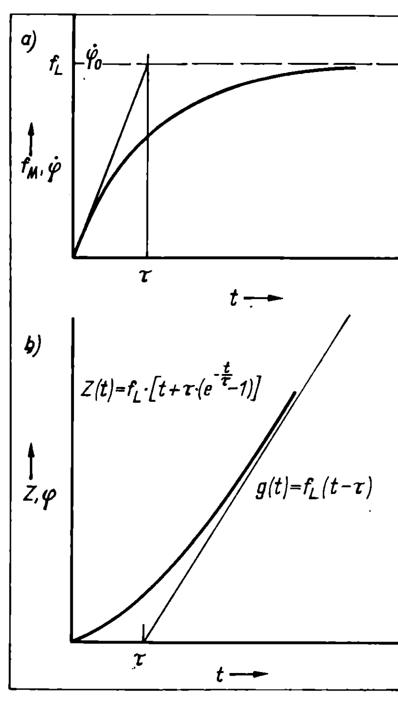


Bild 5. Anlaufverhalten eines Schrittantriebes

a) Verlauf der Frequenz bzw. der Winkelgeschwindigkeit; b) Zeitfunktion für Schrittzahl bzw. Drehwinkel

und

$$\omega_M = \frac{2l}{rT'} \cdot \tag{6}$$

Damit ergibt sich mit $\Theta = 290 \cdot 10^{-6}$ kg m²/rad² bei 650 AT/min und $l = 60$ mm für P_m ein Wert von 45 W und für $l =$ $= 120$ mm 163 W.

2. Packmittelabzug mit elektrischem Schrittantrieb

2.1. *Antriebsverhalten elektrischer Schrittantriebe*

Schrittmotoren sind in einer Vielzahl von Ausführungsformen bekannt [1]. Ihre Anwendbarkeit ist immer zusammen mit der Ansteuerelektronik zu untersuchen. Von den zur Verfügung stehenden Schrittmotoren vom Typ IPS 5 (VEB Carl Zeiss JENA) und Z 42 RS 145 (MEZ Nachod, ČSSR) kam zunächst der Typ IPS 5 — ASE (2) zur Anwendung. Grundlegende Aussagen und Untersuchungen zur Erhöhung des verfügbaren Drehmomentes zu diesem Antriebssystem liegen vor [2] bis [5]. Zahlreiche Veröffentlichungen beschreiben Wege zur rechnergestützten Simulation und Modellierung, die Kopplung von Mikrorechnersystemen mit Schrittantrieben, das Bewegungsverhalten sowie die Systematisierung und Einordnung, z. B. [6] bis [10].

Bei dem inkrementalen Positionssteller IPS 5 handelt es sich um einen Mehrstatormotor mit reaktivem Läufer, dessen Blechpakete der fünf Statorspulensysteme jeweils um den konstruktiven Stellwinkel versetzt hintereinander in dem zylindrischen Gehäuse angeordnet sind. Für die angeführten Überschlagsrechnungen ist die Kenntnis der Motorgrenzkurven des Start/Stop- bzw. des Beschleunigungsbereiches von wesentlicher Bedeutung. Diese können, wie im Beispielfall, den Herstellerangaben [11] entnommen oder experimentell mit Hilfe eines Motorprüfstandes ermittelt werden. Auf der Grundlage eines in [5] beschriebenen Prüfverfahrens wurden die experimentell bestimmten statischen Grenzkurven zur Berechnung herangezogen, wobei diese Werte unter Berücksichtigung der Exemplarstreuungen gut mit den Herstellerangaben übereinstimmten. Die Anwendung moderner numerischer Berechnungsverfahren [12] und [13] zur Ermittlung von Momenten-Drehwinkel- bzw. Momenten-Frequenz-Kennlinien von Reluktanzmotoren erfordert einen erheblichen rechentechnischen Aufwand. Von besonderer Bedeutung für die Auswahl eines Schrittantriebes und die Dimensionierung des Gesamtsystems sind die Kenngrößen der Schrittmotoren nach Tafel 1, die den Vergleich verschiedener Schrittmotoren untereinander ermöglichen.

Tafel 1. Kenngrößen von Schrittantrieben

Kenngröße	IPS-5		Z 42 RS 145	
Bauart Stator	5 Statoren ($m = 5$)		2 Phasen ($m = 2$)	
Bauart Rotor	reaktiv ($z = 24$)		aktiv ($z = 50$)	
Schrittwinkel	3° (1,5°)		1,8° (0,9°)	
periodische Schrittzahl s	5 (10)		4 (8)	
Schrittzahl je Umdrehung $Z' = m \cdot z$	120 (240)		200 (400)	
Winkelgeschwindigkeit ω in rad/s	$0{,}052 f_M$ $(0{,}026 \cdot f_M)$		$0{,}031 \cdot f_M$	
Haltemoment M_H (Kippmoment M_K)	0,3 Nm/rad		1,85 Nm/rad	
max. eff. Motormoment $\overline{m}_{max}$	0,28 Nm/rad		1,67 Nm/rad	
Massenträgheitsmoment des Rotors Θ_M	$6 \cdot 10^{-6}$ kg m²/rad²		$172 \cdot 10^{-6}$ kg m²/rad²	
Masse des Motors	2,2 kg		3,2 kg	
dynamische Güte $G_{dyn} = \frac{M_H}{\Theta_M}$	$50 \cdot 10^3$ rad/s²		$11 \cdot 10^3$ rad/s²	
verfügbares Motormoment M_M und mechanische Leistung P_m für $f_M = 0{,}5$ kHz	$M_M =$ 0,29 Nm	$P_m =$ 8 W	$M_M =$ 1,5 Nm	$P_m =$ 24 W
1 kHz	0,27 Nm	14 W	1,3 Nm	41 W
2 kHz	0,22 Nm	23 W	1,0 Nm	61 W
3 kHz	0,19 Nm	30 W	0,7 Nm	65 W
4 kHz	0,17 Nm	36 W	0,5 Nm	62 W
5 kHz	0,16 Nm	42 W	0,4 Nm	62 W
6 kHz	0,15 Nm	48 W	0,33 Nm	62 W
7 kHz	0,14 Nm	52 W	0,27 Nm	60 W

Für den Anwender ist letztlich das Verhalten des Schrittmotors unter Lastbedingungen von Interesse, was durch das Lastbeschleunigungsvermögen

$$\varepsilon_v = \frac{M_M - M_L}{\Theta_M + \Theta_L} \tag{7}$$

ausgedrückt wird.

2.2. *Schrittantrieb für Packmitteltransport*

Ausgangspunkt für die Dimensionierung des Schrittantriebes ist seine Moment-Frequenz-Kennlinie (Bild 3). Sie ist die Grundlage für die Berechnung des Betriebsverhaltens eines Schrittantriebes bei bekannter Last [10] und [15]. Für eine Näherungsrechnung geht man zweckmäßigerweise von einer linearisierten Kennlinie aus (Bild 4). Mit $M_L =$ const. erhält man die Differentialgleichung

$$\frac{df_M}{dt} + \frac{1}{\tau} \cdot f_M = \frac{f_L}{\tau} \tag{8}$$

mit

$$f_L = f_0 \left(1 - \frac{M_L}{M_0}\right) \tag{9}$$

und

$$\tau = \frac{(\Theta_M + \Theta_L)\, \varphi_0 f_0}{M_0} = \frac{(\Theta_M + \Theta_L)\, \varphi_0 f_L}{M_0 - M_L} \, . \tag{10}$$

Tafel 2. Dynamische Betriebskenngrößen von Schrittantrieben

	IPS-5	Z 42 RS 145
maximales Beschleunigungsvermögen $\varepsilon_{v\max} = \frac{M_M - M_L}{\Theta_M}$	$47 \cdot 10^3$ rad/s²	$9{,}7 \cdot 10^3$ rad/s²
Beschleunigungsvermögen mit		
$\Theta_L = 120 \cdot 10^{-6}$ kg m²/rad²	$2{,}2 \cdot 10^3$ rad/s²	$5{,}7 \cdot 10^3$ rad/s²
mit		
$\Theta_L = 60 \cdot 10^{-6}$ kg m²/rad²	$4{,}2 \cdot 10^3$ rad/s²	$7{,}2 \cdot 10^3$ rad/s²
Zeitkonstante τ mit f_0 = 5 kHz und		
$\Theta_L = 120 \cdot 10^{-6}$ kg m²/rad²	120 ms	27 ms
bzw.		
$\Theta_L = 60 \cdot 10^{-6}$ kg m²/rad²	63 ms	21 ms

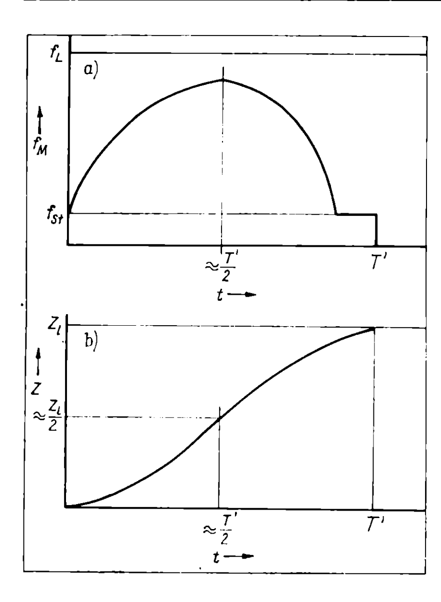


Bild 6. Bewegungszyklus
a) Frequenzsteuerfunktion; b) Schrittzahlfunktion

Eine wichtige dynamische Kenngröße ist das Beschleunigungsvermögen. Für die translatorische Bewegung der Packmittelbahn erhält man aus dem Kräftegleichgewicht

$$a_V = \frac{(M_M - M_R - F_L \cdot r) \cdot r}{\Theta_M + \Theta_L(r^4)}, \qquad (11)$$

woraus sich ein optimaler Radius r_{opt} berechnen läßt, für den das Beschleunigungsvermögen maximal ist. Für vernachlässigbares Lastmoment M_L und sehr unterschiedliche Massenträgheitsmomente ergibt sich

$$\text{für } \Theta_L \ll \Theta_M : a_V = \frac{M_M \cdot r}{\Theta_M} \sim r, \qquad (12)$$

$$\text{für } \Theta_L \gg \Theta_M : a_V = \frac{M_M \cdot r}{\Theta_L(r^4)} \sim \frac{1}{r^3}. \qquad (13)$$

Da für das Anfahr- und Bremsverhalten nur der Beschleunigungsbereich interessiert, kann die Kennlinie für den Schrittantrieb auch als Funktion $\ddot{\varphi} = g(\dot{\varphi})$ bzw. $\dot{f}_M = g(f_M)$ dargestellt werden. Der Geradenanstieg wird durch die Zeitkonstante

$$\tau = \dot{\varphi}_0/\ddot{\varphi}_0 = f_L/\dot{f}_0 \qquad (14)$$

bestimmt.
Die Lösung von (11) ergibt (Bild 5a)

$$f_M = f_L(1 - e^{-t/\tau}), \qquad (15)$$

die Integration liefert die Zeitfunktion für die Schrittzahl Z (Bild 6b)

$$Z = \int f_M \, dt = f_L \tau \left(\frac{t}{\tau} - 1 + e^{-t/\tau}\right). \qquad (16)$$

Das Beschleunigungsvermögen ε_V eines Schrittantriebes erhält man zu

$$\varepsilon_V = \ddot{\varphi}_0 = \varphi_0 \cdot \dot{f}_0 = \frac{\varphi_0 \cdot f_L}{\tau} = \frac{M_M - M_L}{\Theta_M + \Theta_L}. \qquad (17)$$

Mit diesen Zusammenhängen ist es möglich, die Eignung eines Schrittantriebes für den gegebenen Anwendungsfall anhand dynamischer Betriebskenngrößen (Tafel 2) zu prüfen und eine näherungsweise Vorausberechnung des dynamischen Verhaltens durchzuführen. Für einen Schrittantrieb mit dem Schrittmotor Z 42 RS 145 für den Packmitteltransport ergibt sich bei einer Arbeitstaktfrequenz von 650 Arbeitstakten/min (T' = = 66 ms) mit t = 33 ms eine erreichbare Schrittzahl von Z = 107, was einer Abschnittslänge von l = 67 mm entspricht. Außer für die Vorausberechnung sind diese Beziehungen jedoch auch für die Steuerung des Schrittmotors wichtig, insbesondere die Funktion (15) für f_M, die hierfür verallgemeinert lautet [10] [14] und [15]

$$f_M = f_L - (f_L - f_{st}) \cdot e^{-t/\tau}. \qquad (18)$$

Die praktische Steuerfunktion für f_M beginnt mit der Start-Stop-Frequenz f_{st}, auf die der Schrittmotor ohne Schrittverlust springen kann, läuft dann nach einer e-Funktion mit der Zeitkonstanten τ so weit, bis eine eingestellte Schrittzahl (die halbe oder etwas mehr als die halbe Gesamtschrittzahl) erreicht ist, f_M nimmt dann nach einer gespiegelten e-Funktion ab bis zur Frequenz f_{st}, die so lange anliegt, bis die Gesamtschrittzahl erreicht ist (Bild 6) oder der Steuerimpuls von der Druckmarkenzentrierung eintrifft. Die Start-Stop-Frequenz läßt sich näherungsweise berechnen zu

$$f_{st} = \sqrt{\frac{s}{4} \cdot \frac{\varepsilon_V}{\varphi_0}} = \sqrt{\frac{s}{4} \cdot \frac{f_L}{\tau}}. \qquad (19)$$

Mit den angegebenen Näherungsberechnungen läßt sich die Eignung von Schrittantrieben für einen bestimmten Anwendungsfall prüfen; das reale Betriebsverhalten (Lastschwankungen, Nichtlinearitäten, Instabilitätsbereiche) wird zweckmäßigerweise experimentell ermittelt. Dazu wurden an einem Versuchsstand eine Reihe von Messungen zur Analyse und Optimierung des Antriebssystems durchgeführt [16]. Die Ergebnisse zeigen, daß die o. a. Beziehungen für eine überschlägliche Antriebsberechnung geeignet sind, geben jedoch auch die Instabilitätsbereiche, die beim Betriebseinsatz zu umgehen sind, an.

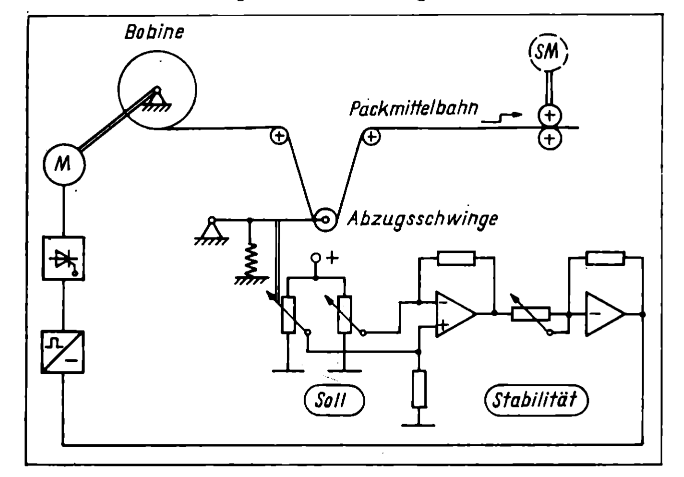
3. Packmittelvorabzug mit geregeltem Bobinenantrieb

Der Packmittelabzug erfolgt von einer Bobine mit einem sehr großen Massenträgheitsmoment ($\Theta_{B\max} \approx 0{,}2$ kg m²/rad²) über eine Tänzerwalze, die als Packmittel-Zwischenspeicher und als Tiefpaß zum Ausgleich der Schrittbewegung des Packmittelhauptabzugs dient. Durch das geringe Drehmoment der verfügbaren elektrischen Schrittantriebe wurde ein Packmittelvorabzug nötig, um das Energieniveau für den Schrittantrieb zu senken. Realisiert wurde dieser Vorabzug durch elektromotorischen Antrieb der Bobine (Bild 7), wobei die Abzugsgeschwindigkeit von der Bobine nahezu konstant bleibt. Als Meßgröße für den Istwerteingang des Reglers wurde der Drehwinkel der Abzugsschwinge benutzt. Um auf eine mechanische Bremse, die sich dynamisch ungünstig auswirkt, verzichten zu können, wird der verwendete Motor bei entsprechender Stellung der Abzugsschwinge als Bremse benutzt. Der so aufgebaute Packmittelvorabzug brachte als wesentliche Vorteile ein verbessertes dynamisches Verhalten und vor allem eine wesentlich geringere Packmittelbeanspruchung mit Auswirkungen auf die Materialökonomie (Verwendung billigerer Packmittel).

Zusammenfassung

Für die diskontinuierliche Packmittelzuführung bei intermittierend arbeitenden Einschlagmaschinen erweist sich der Ein-

Bild 7. Packmittelvorabzug mit elektrischem Regler



satz eines Schrittantriebes für den Packmittelhauptabzug als möglich und sinnvoll. Es werden Hinweise zur einfachen näherungsweisen Berechnung und Projektierung eines derartigen Antriebs unter Benutzung der Momenten-Frequenz-Kennlinie des Schrittantriebes gegeben.
Mit einem elektrischen Schrittantrieb ergeben sich eine leichte Anpassung der Packmittelzuführung an die Taktzahl der Maschine, eine nutzerfreundliche Einstellbarkeit der Packmittel-Abschnittslänge, die Möglichkeit für Leertaktsteuerung, und Druckmarkenzentrierung sowie eine Senkung des Material- und Fertigungsaufwandes. Mit dem Packmittelvorabzug, der mit einem über eine Abzugsschwinge gesteuerten Bobinenantrieb verwirklicht wird, können das Energieniveau am Hauptabzug gesenkt, das dynamische Verhalten verbessert und vor allem eine geringere Packmittelbeanspruchung erreicht werden.

Literatur

[1] *Richter, C.; Halle, H.:* Systematisierung von Schrittmotoren. Gastvortrag zum 25. Internat. Wiss. Kolloquium der TH Ilmenau 1980.
[2] *Neundorf, H.:* Untersuchung zur Auslegung und zum Betriebsverhalten schneller Schrittantriebe. Dissertation A, TU Dresden 1971.
[3] *Räumschüssel, E.:* Untersuchungen der dynamischen Eigenschaften von rotatorischen elektromagnetischen Schrittantrieben. Dissertation A, TH Ilmenau 1976.
[4] *Pielot, U.:* Untersuchung von Positioniersystemen mit Schrittmotorantrieb Dissertation A, TU Dresden 1976.
[5] *Bischoff, W.:* Untersuchung von Schrittmotorantriebssystemen mit Reluktanzmotor und pulsstromgeregeltem Transistorverstärker. Dissertation A, TH Magdeburg 1979.
[6] *Kallenbach, E.; Furchert, H.-J.:* Kopplung von Baugruppen der Mikrorechentechnik mit Baugruppen der Gerätetechnik. Feingerätetechnik, Berlin 30 (1981) 2, S. 80–83.
[7] *Püttmann, R.; Seydel, E.:* Blockorientierte Modellierung eines Schrittmotorantriebes. Feingerätetechnik, Berlin 29 (1980) 7, S. 309–311.
[8] *Kutschke, J.:* Schrittmotorsteuerung mit inkrementalen Rückkopplungsgebern. Feingerätetechnik, Berlin 28 (1979) 7, S. 297–299.
[9] *Schatter, G.; Winkler, G.:* Mikrorechnereinsatz zur Beschleunigungssteuerung von Schrittmotoren. Feingerätetechnik, Berlin 29 (1979) 3, S. 103 bis 106.
[10] *Missuweit, G.:* Untersuchungen zum Einsatz eines elektrischen peripheren Antriebes für die Packmittelzuführung von Bobinen. Forschungsbericht 861, TU Dresden 1981.
[11] Bedienungsanleitung für IPS und ASE, VEB Carl Zeiss JENA.
[12] *Ertan, H.; Hughes, A.; Lawrenson, P.:* Efficient numerical method for predicting the torque/displacement curve of saturated VR stepping motors. Electric Power Applications 127 (1980) 4, pp. 246–252.
[13] *Acarnley, P.; Hughes, A.:* Predicting the pullout torque/speed curve of variable reluctance stepping motors. Electric Power Applications 128 (1981) 2, pp. 109–113.
[14] *Stange, H.:* Elektrische periphere Antriebe – Schrittmotoren. Forschungsbericht 809b, TU Dresden 1978.
[15] *Neundorf, H.:* Die Steuerung von Schrittmotoren beim Übergang zu Schrittfrequenzen oberhalb der Grenzkurve der Startfrequenz. Elektrie, Berlin 25 (1971) 10, S. 392–394.
[16] *Weiske, D.:* Versuchsprogramm an einem Abzug mit Schrittmotor. Ingenieurbeleg, TU Dresden 1983.

msr 7968

E. Heidenreich; M. Stintz[1])

Rechnergestützte granulometrische Analysenmeßtechnik

0. Einleitung

Stoffliche Systeme sind durch mechanische Prozesse vor allem im grobdispersen Teilchengrößenbereich wandelbar. Schüttungen disperser Feststoffe, Schlämme und pastenartige Stoffe, aber auch Stäube, Mischungen ineinander nicht löslicher Flüssigkeiten sowie feststoff- oder gasblasenbeladene Flüssigkeiten gelten als Beispiele für grobdisperse Stoffsysteme. Diskrete Teilchen (Körner, Tropfen, Blasen) im Bereich größer 1 μm bilden die disperse Phase, die in einer kontinuierlichen Phase verteilt ist. Zur Prozeßbeschreibung ist vor und nach der stofflichen Wandlung die Kennzeichnung des grobdispersen Stoffsystems erforderlich. Zustandsaussagen müssen Angaben sowohl zum Mischungszustand der beteiligten Komponenten oder Phasen als auch zu den Merkmalen der grobdispersen Phase, dem granulometrischen Zustand, beinhalten [5]. Teilchengröße und Teilchenform sind wesentliche granulometrische Merkmale, von denen zahlreiche Eigenschaften grobdisperser Stoffsysteme, z. B. Fließverhalten, Schwebefähigkeit, Rieselfähigkeit, abhängen. Da die Teilchen der grobdispersen Phase keine einheitliche Größe und Form haben, sind reale Stoffsysteme polydispers. Unter dem granulometrischen Zustand wird die nur experimentell bestimmbare Verteilung von Merkmalen bzw. ihnen eindeutig zugeordnete Größen, wie Teilchengröße, Teilchenform, hinsichtlich der Mengenanteile verstanden. Es bestehen vielfältige Methoden der Teilchenformbeschreibung. Sie wird aber häufig nur verbal gekennzeichnet, da quantitative Bestimmungsmethoden aufwendig und vielfach nicht verfügbar sind [6]. Bei der granulometrischen Analytik soll zunächst das Merkmal Teilchengröße betrachtet werden. Im Hinblick auf seine experimentelle Bestimmung sind physikalische Teilcheneigenschaften, die meßbar sind und eine Ordnung der Teilchen erlauben, ein zweckmäßiger Ausgangspunkt zur Zustandskennzeichnung. Sie werden Dispersitätsgrößen genannt und den eindimensionalen geometrischen Größen zugeordnet. Beim Vergleich granulometrischer Meßergebnisse ist zu beachten, daß bei nicht kugelförmigen Teilchen unterschiedliche Dispersitätsgrößen physikalisch begründet zu unterschiedlichen Teilchengrößen führen. Zur zielgerichteten Verbesserung bestimmter Produkteigenschaften ist die Kenntnis ihrer Abhängigkeit vom granulometrischen Zustand erforderlich. Der größte Aufwandsanteil bei der Ermittlung des als Eigenschaftsfunktion bezeichneten Zusammenhanges ist meist mit den granulometrischen Analysen verbunden [1]. Von der Zielstellung her sind Verteilungsmeßmethoden von den integralen Meßmethoden zu unterscheiden. Während die letzteren auf die Ermittlung granulometrischer Kenngrößen ohne Aussagen zur Verteilungsbreite abzielen, erlauben Verteilungsmeßmethoden die Bestimmung der Verteilungsfunktion bzw. -dichte von Dispersitätsgrößen. Dabei kann die Vielzahl der anfallenden Informationen nach statistischen Methoden nur durch den Rechnereinsatz effektiv verarbeitet werden.

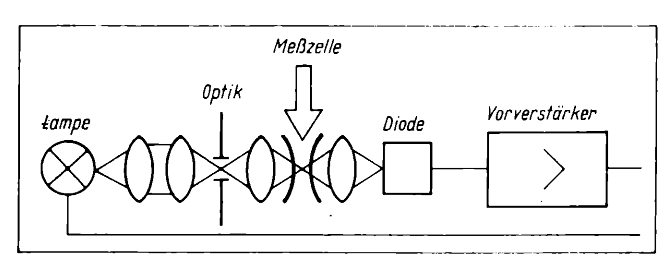


Bild 1. Meßanordnung PARTOSCOPE F

1. Meßprobleme von unmittelbaren Zählmethoden

Die Aufgabe der granulometrischen Verteilungsmeßmethode besteht in der mengenmäßigen Bewertung der Verteilung einer Teilchengröße, die der vom Meßprinzip abhängigen Dispersitätsgröße zugeordnet ist. Die vielfältigen Methoden, die für unterschiedliche Phasenzuordnungen, Teilchengrößenbereiche und Zielstellungen geeignet sind, lassen sich bezüglich der bewerteten Dispersitätsgröße und Mengenart unterscheiden. Die in der Tafel dargestellten Verteilungsmeßmethoden können in den Hauptgruppen

– Prüfsiebmethoden
– Sedimentations- und Sichtungsmethoden
– abbildende Methoden
– unmittelbare Zählmethoden

zusammengefaßt werden [7].
Die unmittelbaren Zählmethoden formen die bewertete Dispersitätsgröße in ein elektrisches Signal um, das direkt als Meßwert erfaßt wird und im Ergebnis als Anzahlverteilung vorliegt. Die mögliche hohe Arbeitsgeschwindigkeit läßt diese Methode auch bezüglich der On-line-Technik besonders geeignet erscheinen [4].

---

[1]) Prof. Dr. sc. techn. *Eberhard Heidenreich* (47). 1954 bis 1960 Studium an der TH Dresden, 1967 Promotion A und 1974 Promotion B an der TU Dresden. 1967 bis 1968 Leiter des Applikationslabors von VEB TUR Dresden in Hohen-Neuendorf. 1968 bis 1970 Assistant-Professor an der Universität Aleppo/Syrische Arabische Republik. 1970 Hochschuldozent für Mechanische Verfahrenstechnik an der TU Dresden. 1974 ordentlicher Professor für Mechanische Verfahrenstechnik und Verarbeitungstechnologie an der TU Dresden. 1975 bis 1981 Direktor der Sektion Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik. Seit 1980 Leiter des Wissenschaftsbereiches Mechanische Verfahrenstechnik/Systemverarbeitungstechnik. Seit 1981 1. Prorektor der TU Dresden.

Dipl.-Ing. *Michael Stintz* (25) studierte von 1977 bis 1981 Verfahrenstechnik an der TU Dresden. Seit 1981 Forschungsstudent am Wissenschaftsbereich Mechanische Verfahrenstechnik/Systemverfahrenstechnik der TU Dresden.

Tafel. Merkmale für granulometrische Analysenmethoden [7]

w_N Nennöffnungsweite; d_s sinkgeschwindigkeitsäquivalenter Kugeldurchmesser; d_A flächenäquivalenter Kreisdurchmesser; d_F Feretscher Durchmesser; d_I Kugeldurchmesser gleicher relativer Streulichtintensität; m Feststoffmasse; N Teilchenanzahl

Analysenmethode	Merkmal						
	Teilchengrößenbereich in µm	Meßergebnis	Probenumfang in g	Zeitaufwand in h		Geräteaufwand	personeller Aufwand
				Probenvorbereitung	Analyse		
trockene Maschinenprüfsiebung	>100	$m(\Delta w_N)$	>50	<1	2	normal	groß
Luftstrahlprüfsiebung	>10	$m(w_N)$	>5	<1	<0,5/Sieb	normal	groß
Schlämmprüfsiebung	>5	$m(\Delta w_N)$	>5	<1	<0,5/Sieb	normal	groß
Sedimentationsanalyse nach *Dallendörfer/Langhammer*	1 ... 63	$m(d_s)$	0,1 ... 5	<1	10	normal	sehr groß
Sedimentationswaage	1 ... 100	$m(d_s)$	0,1 ... 5	<1	7	groß	gering
Fotosedimentometer	1 ... 100	$m(d_s)$	10^{-3} ... 10^{-1}	<1	1	groß	gering
Sedigraph	0,1 ... 100	$m(d_s)$	1 ... 10	<1	1	sehr groß	gering
Bahco-Sichter	2 ... 50	$m(d_s)$	10	<1	2	groß	groß
Lichtmikroskopie mit Opton-Zähler	>1	$N(d_A)$	$<10^{-3}$ ($N > 3000$)	<1	>5	groß	sehr groß
optisch-elektronische Bildanalyse	>1	$N(d_F)$	$<10^{-3}$ ($N > 3000$)	>1	<1	außerordentlich groß	gering
Streulichtzähler	>2	$N(d_I)$	$<10^{-3}$ ($N > 3000$)	<1	<1	sehr groß	gering
Impulsmethode (LABORSCALE)	0,8 ... 63	$N(d_V)$	$<10^{-3}$ ($N > 3000$)	<1	1	groß	gering

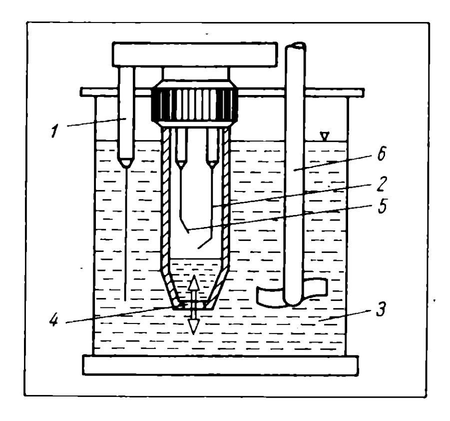


Bild 2. Meßanordnung LABORSCALE

1 äußere Elektrode; *2* innere Elektrode; *3* Suspension Feststoff/Elektrolyt; *4* Düsenbohrung; *5* Steuerelektrode; *6* Rührer

Häufig genutzte Meßprinzipe basieren auf der Störung eines elektrischen Feldes oder Lichtstrahls als Dispersitätsgröße. Durch Einzelteilchen verursachte Feldstörungen (Bilder 1 und 2) werden über den als Sensor ausgebildeten Umformer gemessen und in einen Spannungs- oder Stromimpuls gewandelt. Durch Eichung kann die Abhängigkeit der Impulshöhe vom Durchmesser der möglichst monodispersen und kugelförmigen Eichteilchen erhalten werden. Die im Analysenbetrieb gemessene Teilchengröße ist der Durchmesser der feldstörungsgleichen Kugel. Material- und Formeinflüsse der analysierten dispersen Phase können durch geeignete geometrische Verhältnisse im Sensor minimiert werden.

Der Ausschluß von Koinzidenzen erfordert, daß zum Zeitpunkt der Messung mit hinreichender Wahrscheinlichkeit nur ein Teilchen im Meßvolumen anwesend ist. Das muß durch Einhaltung einer vom Meßvolumen abhängigen maximalen Teilchenkonzentration gewährleistet werden. Für alle bekannten unmittelbaren Zählmethoden folgt daraus das Optimierungsproblem zwischen Verkleinerung des Meßvolumens und erfaßbarer maximaler Teilchengröße. Der mit einer einzigen Messung betrachtete Teilchengrößenbereich ist deshalb meist kleiner als der im grobdispersen Stoffsystem real vorhandene. Dieser kann deshalb oft nur durch Kombination mehrerer Messungen, z. T. auch unterschiedlicher Meßprinzipe, gewonnen werden.

Für die Darstellung der Größenverteilung im Ergebnis einer Messung sind der Größe der Teilchen zugeordnete Mengenanteile zu ermitteln. Dabei können unterschiedliche Mengenarten (z. B. Anzahl, Volumen) verwendet werden. Sowohl die Dichte als auch die Verteilungsfunktion werden auf die Gesamtmenge der gemessenen Teilchen normiert. Mengenartumrechnung und Kennwertbestimmung der einzelnen Größenverteilungen führen zu Integralen in Momentenform. Dabei hängt die erreichbare Genauigkeit von der Breite der Teilchengrößenklassen und damit von ihrer Anzahl ab [7].

Die geschilderten Probleme der Zählmethoden lassen sich nur durch die rechnergestützte Signalverarbeitung beherrschen. Ein ursprüngliches Ziel, die Gewinnung von Eigenschaftsfunktionen, erfordert die Kennzeichnung der Merkmalsverteilung durch wenige Parameter. Übliche Methoden sind die Kennwertberechnung über Momente oder näherungsweise analytische Beschreibung durch statische Verteilungsgesetze über Regressionsanalysen [2].

2. Meßeinrichtung PARTOSCOPE F

Die als Dispersitätsgröße genutzte relative Extinktion eines Lichtstrahls durch Einzelteilchen wird anzahlmäßig bewertet. Das weiße Licht einer Halogenlampe ist über ein Linsen- und Blendensystem auf eine von der Analysenprobe durchströmte Meßzelle fokussiert (Bild 1). Die in einer geeigneten Flüssigkeit suspendierten Feststoffteilchen des zu untersuchenden grobdispersen Stoffsystems verursachen beim Einzeldurchgang durch das Meßvolumen einen relativen Extinktionseffekt gegenüber der reinen Flüssigkeit durch Absorption und Streuung, dessen Amplitude sich im Bereich der geometrischen Optik proportional zur Projektionsfläche des Teilchens verhält. Der Extinktionseffekt wird in einer Fotodiode mit integriertem Vorverstärker in einen Spannungsimpuls gewandelt und entsprechend Bild 3 einem Verstärker mit vier wählbaren Faktoren zugeführt sowie auf die Extinktion der reinen Flüssigkeit normiert. Die Signalverarbeitung erfolgt üblicherweise in einem Umsetzer mit 5 oder 10 einstellbaren Komparatoren und Zählern. Deren Inhalt kann über einen Streifendrucker ausgegeben werden. Durch das PARTOSCOPE F kann der Teilchengrößenbereich zwischen 2 und 250 µm erfaßt werden. Der erforderliche Probenumfang beträgt bei einer Reproduzierbarkeit von (1 ... 2) % etwa 500000 Teilchen. Das entspricht bei einem hohen Feinanteil einer Menge von wenigen mg bzw. mm³. Eine repräsentative Analyse kann nur bei sorgfältiger Probenteilung, Desagglomeration durch Ultraschallbehandlung und Gewährleistung einer maximalen Feststoffkonzentration von 1000 ... 1500 Teilchen/ml erzielt werden. Der eigentliche Meßvorgang dauert 1 ... 4 min. Die zu verarbeitende stochastische Impulssequenz liegt in der Größenordnung von 20 ... 100 kHz.

3. Vielkanalanalyse

Die Signalverarbeitung der verstärkten und normierten Impulse durch die Kombination Vielkanalanalysator UNICOM 1056/Tischcomputer HP 9825 A (Bild 4) wäre für betriebliche

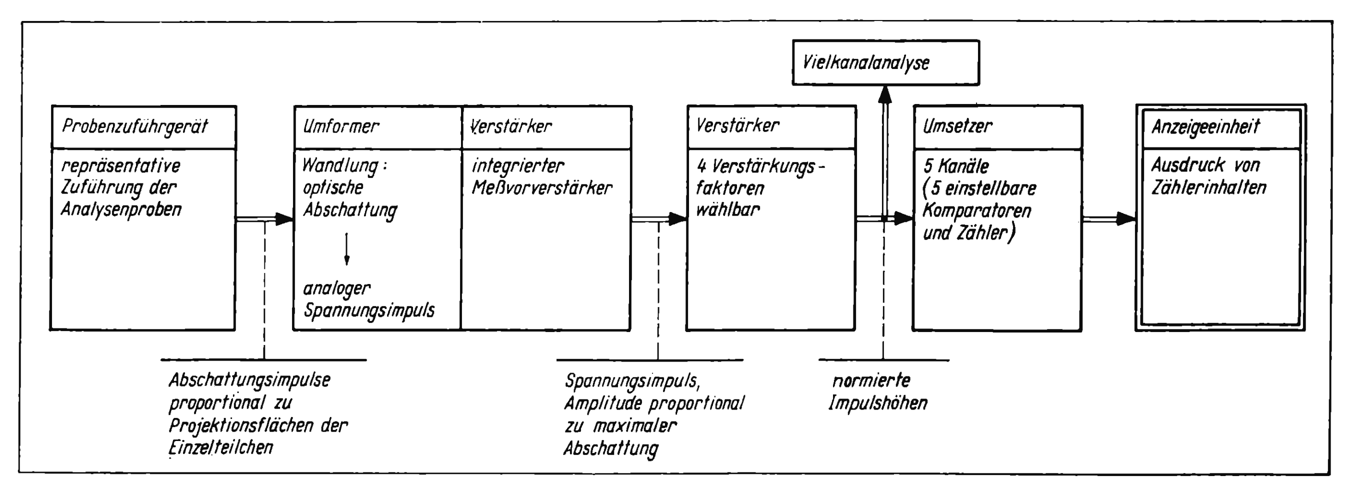


Bild 3. Signalverarbeitung mit PARTOSCOPE F

Überwachungsaufgaben zweifellos überdimensioniert. Durch Simulation verschiedener Arten der Signalverarbeitung und Programmierung beliebiger Berechnungs- und Darstellungsvarianten erlaubt diese Konfiguration die Optimierung sowohl der Software als auch der Hardware. Der Vielkanalanalysator bietet die Wahl zwischen proportionaler und logarithmischer Verstärkung bei stufenlos wählbarem Verstärkungsfaktor. Die Bandbreite des Analog-Digital-Umsetzers beträgt (10 ... 110) kHz. Der Speicherbereich von 1024 Kanälen kann in bis zu 8 Teilbereiche aufgeteilt werden. Dabei werden anliegende Signale entweder zum aktuellen Speicherinhalt addiert oder von ihm subtrahiert. Im Screen-Bild wird über dem Histogramm der Impulsbelegung aller Kanäle der Inhalt eines wählbaren Ausschnittes des Spektrums als Zahlenwert angegeben. Das ist besonders bei der schnellen Überprüfung eines bestimmten Probenvolumens zur Vermeidung von Koinzidenzen vorteilhaft. Beim Überschreiten der maximal zulässigen Konzentration muß die Analyse bei einer höheren Verdünnung wiederholt werden. Nach Beendigung der Messung wird die binär kodierte Kanalbelegung in serieller Form in den Tischcomputer eingelesen. Mit dem Rechner werden folgende Aufgaben realisiert:

- Simulation von Kanalanzahl bzw. -breite sowie Analysenumfang
- Statistische Auswertung von Wiederholungsmessungen
- Ermittlung der Eichfunktion durch Regression
- Mengenartumrechnung und Ermittlung verschiedener granulometrischer Kenngrößen
- Regressionsanalyse zu statistischen Verteilungstypen
- Kombination mehrerer Messungen zur Erweiterung des Teilchengrößenbereiches
- Quantifizierung der systematischen Abweichungen von Teilchengrößen aus unterschiedlichen Dispersitätsgrößen der gleichen Analysenprobe.

Wegen des komplexen Informationsgehaltes ist die zweidimensionale Darstellung über einen angeschlossenen Plotter anschaulicher als der tabellarische Protokollausdruck. Das wird besonders bei der Beurteilung systematischer Abweichungen zwischen Dichtefunktionen deutlich (Bild 5).

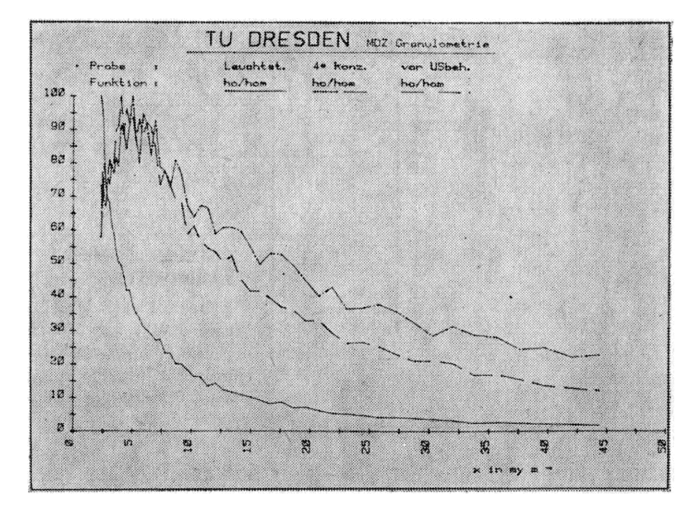
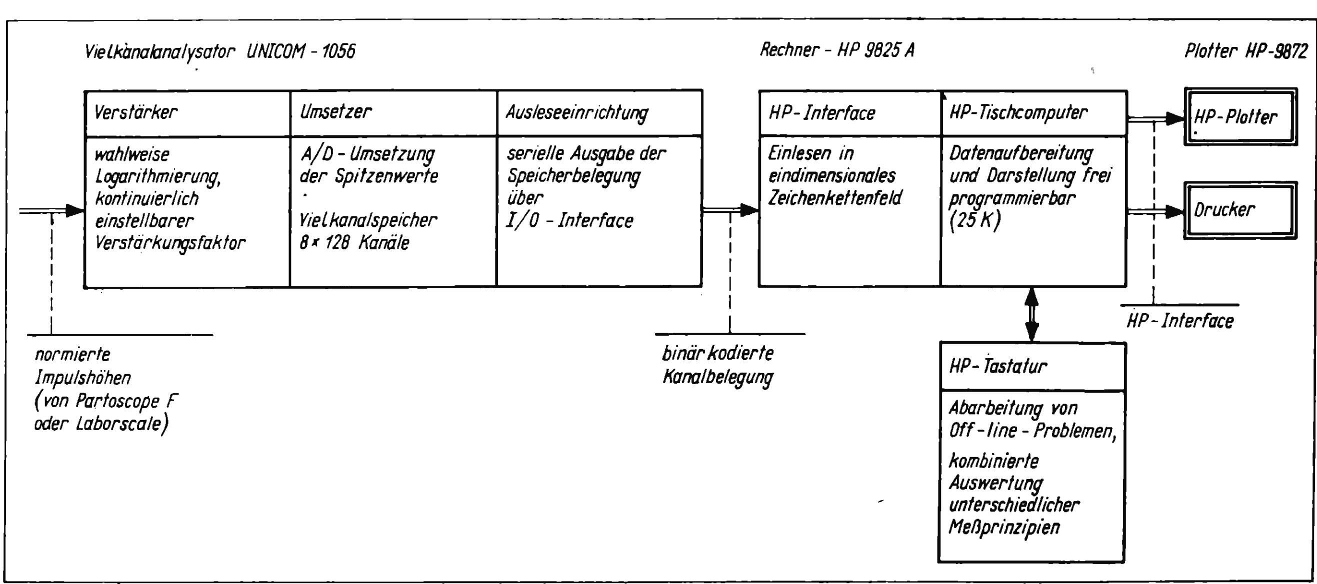


Bild 5. Plot von Analysenergebnissen

Bild 4. Vielkanalanalyse mit HP-Tischrechner



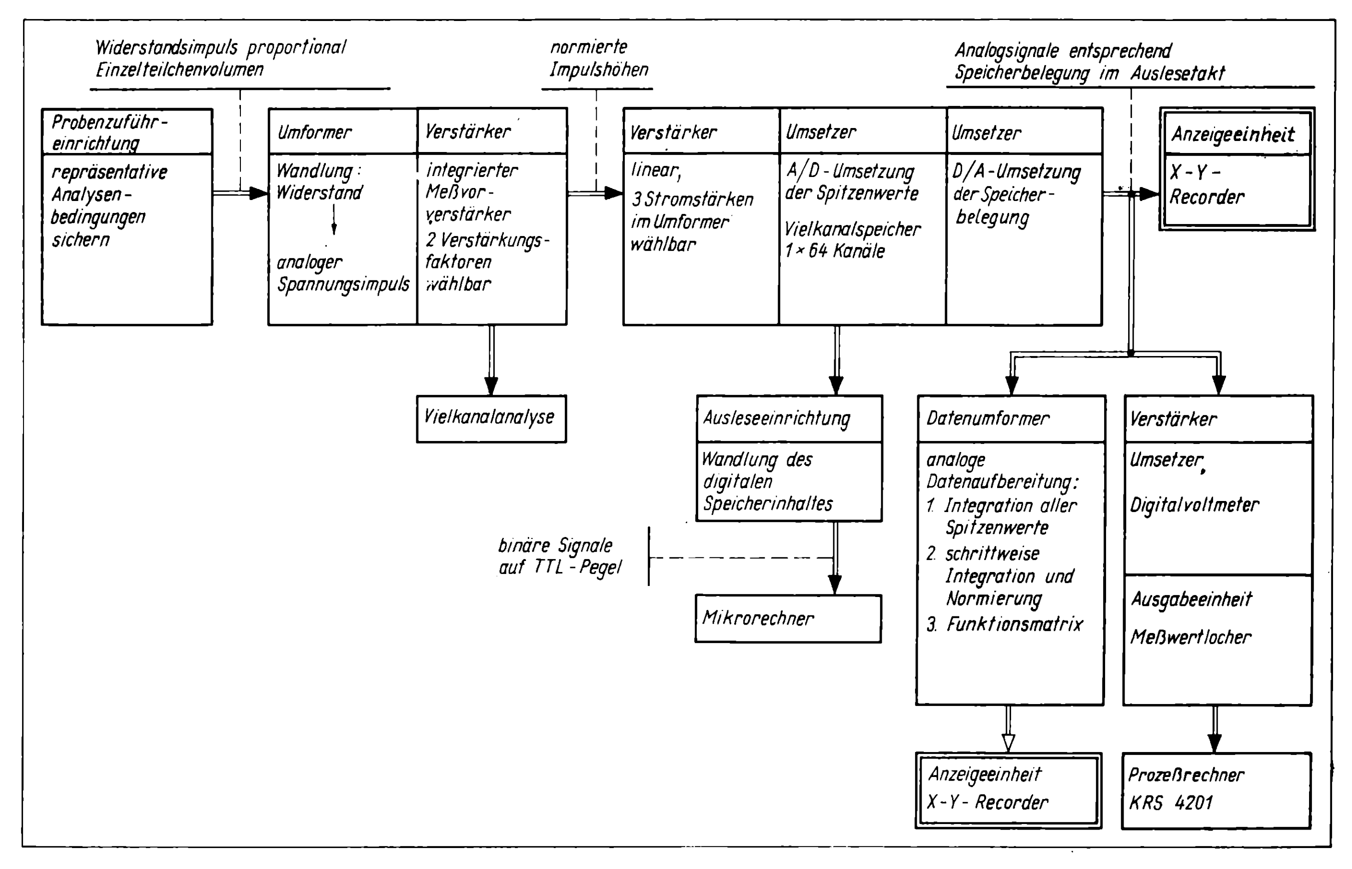
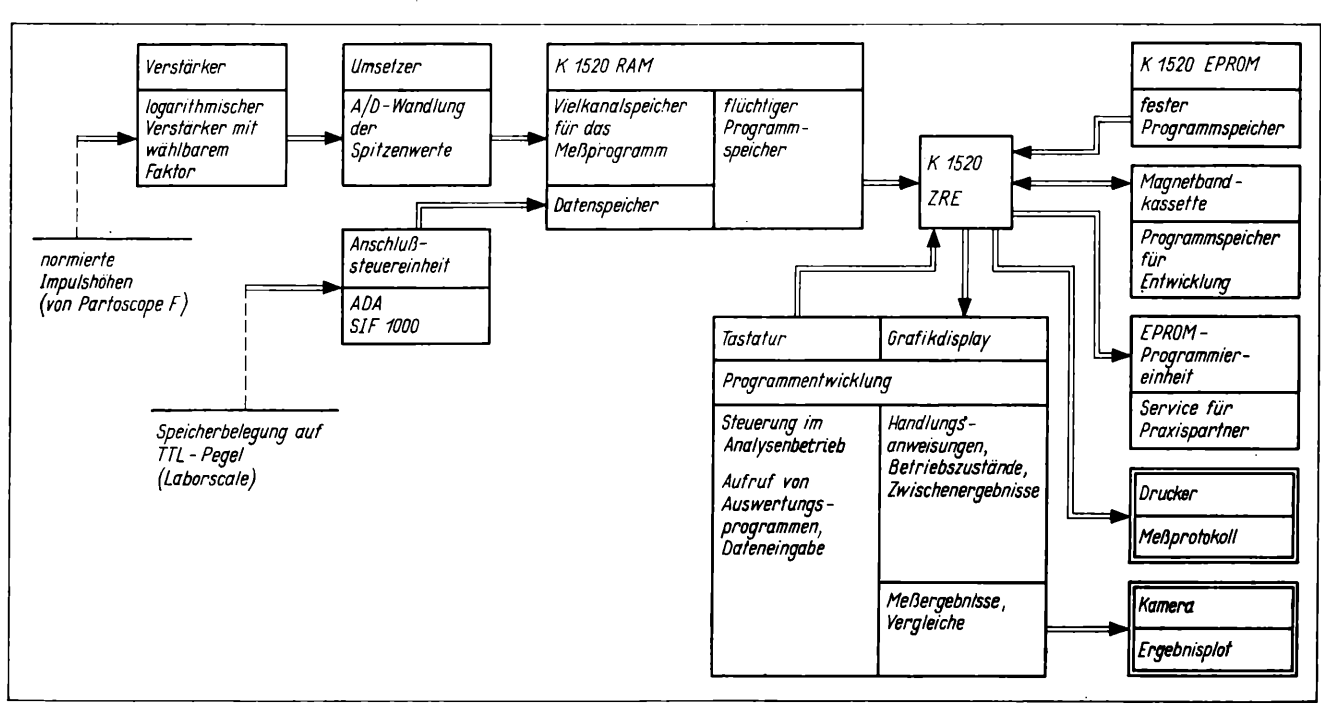


Bild 6. Varianten der Signalverarbeitung mit LABORSCALE

4. Alternative Konfigurationen am Beispiel LABORSCALE

Bei den Impulsverfahren wird die Widerstandsänderung im elektrischen Feld als Dispersitätsgröße genutzt [8] und [9] (Bild 2). Sie ist dem durch Einzelteilchen verdrängten Elektrolytvolumen proportional. Die auf reine Elektrolytflüssigkeit normierten Impulshöhen können zu Vergleichszwecken mit der vorgestellten Konfiguration zur Vielkanalanalyse verarbeitet werden. Bei dem zuerst in der Medizin und Biologie angewendeten ungarischen Gerät LABORSCALE erfolgt die Weiterverarbeitung über Proportionalverstärker, Analog-Digital-Umsetzer und 64-Kanal-Speicher. Nach Beendigung der Messung kann der Speicherinhalt über einen im Gerät enthaltenen Digital-Analog-Umsetzer durch den angeschlossenen X-Y-Recorder ausgegeben werden (Bild 6). Im Rahmen eines Jugendobjektes wurde die Ausgabe über Verstärker und Digitalvoltmeter durch einen Lochstreifenstanzer realisiert. Besteht die Möglichkeit der Nutzung von Informationsverarbeitungsanlagen, so können insbesondere häufige Routineanalysen im Off-line-Betrieb z. B. des Prozeßrechners KRS 4201 rationell ausgewertet werden [3]. Für Überblicksmessungen mit geringeren Genauigkeitsanforderungen (Fehler etwa 5%) wurde eine andere Variante mit minimalem gerätetechnischem Aufwand entwickelt. An den Ausgang des Digital-Analog-Umsetzers wird ein Datenumformgerät zur

Bild 7. Vielkanalanalyse mit Mikrorechner K 1520



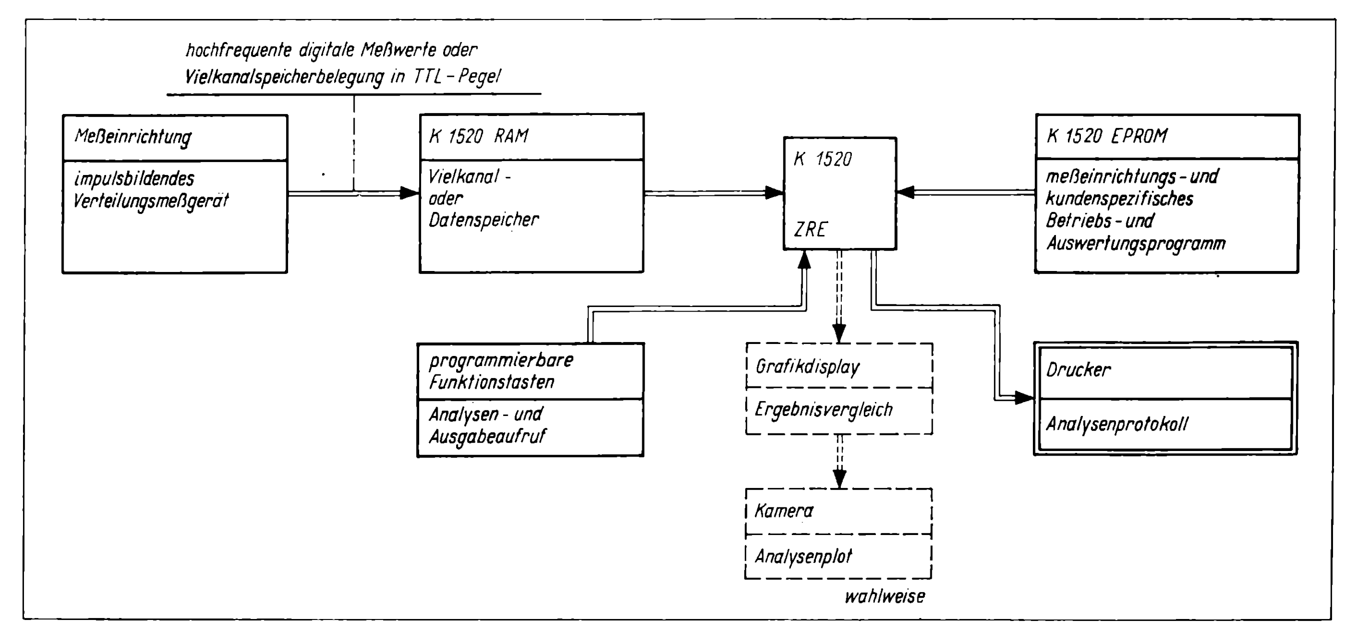


Bild 8. Für Anwender programmierte Vielkanalanalyse mit Mikrorechner

analogen Meßwertverarbeitung angeschlossen. Im ersten Ausgabezyklus erfolgt die Integration des Speicherinhaltes als Basis für die spätere Normierung. Diese erfolgt beim zweiten Ausgabezyklus in Verbindung mit der schrittweisen Integration. Die durch den X-Y-Recorder in ein spezielles Funktionspapier direkt eingezeichnete Verteilungsfunktion kann wahlweise durch eine Diodenfunktionsmatrix nach statistischen Verteilungstypen linearisiert werden. Zum Mikrorechneranschluß wurde eine Schaltung entwickelt, die die Ausgabe des digitalen Speicherinhaltes der 64 Kanäle auf dem erforderlichen TTL-Pegel gestattet. Die im Bild 6 vorgestellten Varianten verdeutlichen, daß der Ort der Schnittstelle Analog-Digital-Signal in der Wirkungskette nach dem Vielkanalspeicher den gerätetechnischen Aufwand, aber auch die realisierte Genauigkeit bestimmt. Die Verarbeitungszeit beträgt in allen Fällen etwa (3 ... 4) min.
Davon unterscheiden sich grundlegend die Verhältnisse im Echtzeitbetrieb zwischen Sensor und Vielkanalspeicher.
Um den eindeutigen Zusammenhang Dispersitätsgröße — Impulsamplitude entsprechend der Eichfunktion unter Meßbedingungen zu sichern, sind in vielen Fällen elektronische Filter (z. B. zur Begrenzung von Impulsbreite oder -anstiegzeit) erforderlich. Wegen der hochfrequenten Signalfolge ist diese Aufgabe nur in Analogtechnik realisierbar.

5. Vielkanalanalyse mit dem Mikrorechner K 1520

Mit ausschließlich in der DDR hergestellten Bausteinen kann eine mikrorechnergestützte Vielkanalanalyse mit hoher Flexibilität entsprechend den jeweiligen Anforderungen der Nutzer realisiert werden. In der Phase der Erprobung und Programmentwicklung ist eine relativ aufwendige Gerätekonfiguration erforderlich. Die im Bild 7 vorgestellte Variante erlaubt den universellen Einsatz für unterschiedliche physikalische Meßprinzipe. Beispielsweise kann aus dem Vielkanalanalysator des Gerätes LABORSCALE das Meßergebnis über eine Anschlußsteuereinheit direkt in den Arbeitsspeicher des Rechners eingelesen werden. In anderen Fällen kann der Mikrorechner die Funktion des Vielkanalanalysators bei Kopplung mit einem geeigneten Analog-Digital-Umsetzer übernehmen. Dazu wird das Meßprogramm zur hochfrequenten Verarbeitung der Impulsamplitudenwerte in Maschinensprache erstellt. Das angeschlossene Grafikdisplay liefert nach Beendigung der Messung die erforderlichen Konzentrationsangaben und erlaubt Vergleiche von Teilchengrößenverteilungen hinsichtlich systematischer Fehler durch Probenahme, -teilung oder -vorbereitung sowie die Darstellung des Streubereiches bei Wiederholungsmessungen. Danach kann die Dokumentation durch das Meßprotokoll des Druckers oder die Fotografie des Bildschirminhaltes erfolgen. Ein Kassettenmagnetbandgerät dient der Speicherung von Hilfsroutinen und einer Bibliothek von Auswertungsprogrammen. Erprobte Meßwertverarbeitungsprogramme können unter Berücksichtigung spezieller betrieblicher Anforderungen der Anwender bezüglich Ergebnisdarstellung und Dokumentation über die EPROM-Programmiereinheit fest abgespeichert werden. Weiterhin können auch die für den jeweiligen Nutzer erforderlichen Eigenschaftsfunktionen bei der Auswahl geeigneter granulometrischer Kenngrößen der Verteilung Berücksichtigung finden. Für den Anwender ist der gerätetechnische Aufwand wesentlich geringer (Bild 8). Über wenige, durch das Programm definierte Funktionstasten können der Ablauf der Messung gesteuert und die gewünschte Ergebnisdarstellung ausgelöst werden.

Schlußfolgerungen für das MDZ „Granulometrie"

Die primären Aufgaben des Methodisch-Diagnostischen Zentrums (MDZ) „Granulometrie" der Technischen Universität Dresden sind die Entwicklung von Meß- und Auswertemethoden zur prozeßrelevanten Kennzeichnung grobdisperser Stoffsysteme und die möglichst direkte Überführung der Methoden in die Aus- und Weiterbildung sowie in die Industrie- und Forschungspraxis. Es ist verständlich, daß sich die Arbeiten auf Geräteentwicklungen, -adaptionen und in diesem Zusammenhang auch auf Weiterentwicklungen konzentrieren.
In Verbindung mit der Entwicklung leistungsfähiger Analysenmethoden und vor allem durch die Integration der elektronischen Informationsverarbeitung, beginnend bei der Analyse der von unterschiedlichen Sensoren gebildeten Signale, ist die zweckmäßige Entwicklung von Einzelprogrammen und Programmpaketen Bestandteil der Aufgabenstellung des MDZ „Granulometrie". Nicht zuletzt durch die dargestellten Untersuchungen wird, wie auch anderswo, sichtbar, daß durch die Software-Entwicklung überhaupt erst die Möglichkeiten bestehender Meßmethoden, besonders der Zählmethoden, ausgeschöpft werden.

Literatur

[1] *Heidenreich, E.:* Zur Quantifizierung von Eigenschaftsfunktionen. Vortrag zur Fachtagung Granulometrie 1979 in Dresden.
[2] *Heidenreich, E.; Klöden, W.:* Zur Auswertung granulometrischer Analysen auf EDV-Anlagen. Chemische Technik, Leipzig 33 (1981) 3, S. 130–139.
[3] *Klöden, W.:* Kurzbeschreibung des Programms zur Auswertung granulometrischer Analysen des Verteilungsmeßgerätes LABORSCALE. Unveröffentlichte Mitteilung der Sektion Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik der Technischen Universität Dresden 1982.
[4] *Leschonski, K.:* Die On-Line-Messung von Partikelgrößenverteilungen in Gasen und Flüssigkeiten. Chemie-Ingenieur-Technik, Weinheim 50 (1978) 3, S. 194–203.
[5] Autorenkollektiv: Mechanische Verfahrenstechnik I. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1977.
[6] *Türk, M.:* Untersuchungen zur Teilchenformanalytik. Forschungsbericht Technische Universität Dresden, Sektion Verarbeitungs- und Verfahrens technik 1982.
[7] Autorenkollektiv: Verfahrenstechnische Berechnungsmethoden, Teil 3. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1982.
[8] *Heidenreich, E.:* Zur granulometrischen Analyse von Mikrokörnungen mit dem Impulsverfahren. Die Technik, Berlin 23 (1968) 11, S. 706–711.
[9] *Heidenreich, E.; Sackrow, G.:* Zur granulometrischen Analyse grobdisperser Stoffe mit dem Teilchengrößenanalysator LABORSCALE. Labortechnik Berlin 18 (1978) 11, S. 16–20. msr 7961

ISSN 0026-0347, mess., steuern, regeln
Berlin 26 (1983), S. 1—720

messen • steuern • regeln (msr)

**Wissenschaftlich-technische Zeitschrift
für die Automatisierungstechnik
Herausgeber: Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft
für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT
Verlag: VEB Verlag Technik,
DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14**

Jahresinhaltsverzeichnis 26 (1983)

**Nach Fachgebieten (IFAC-Klassifikation) geordnet
Heft 1 bis 12; Seite 1 bis Seite 720**

Sachwortverzeichnis

1. Allgemeine und mathematische Theorie der Regelung und Steuerung

2. Theoretische und experimentelle Untersuchung technischer Regelungssysteme und ihrer Bauglieder

3. Physikalische Anwendungsbereiche der Regelungs- und Steuerungstechnik

4. Regelungs- und Steuerungseinrichtungen und ihre Bauglieder

5. Anwendungen der Regelungs- und Steuerungstechnik

6. Sonstige Informationen über Regelungs- und Steuerungstechnik

7. Buchbesprechungen

8. DDR-Veranstaltungen

9. Internationale Veranstaltungen

10. Dissertationen

11. Persönliches

12. Literatur

13. Aus der Arbeit der WGMA

14. Technische Informationen

15. Patentreferate

16. Verschiedenes

Autorenverzeichnis 26 (1983) Nach Erstautoren geordnet; es sind nur Verfasser von Aufsätzen berücksichtigt



MANUSKRIPTHINWEISE

Jeder Autor ist daran interessiert, daß seine Veröffentlichung möglichst fehlerfrei und ohne Verzögerung in sauberer Darstellung erfolgt. Daher ist es außerordentlich wichtig, die folgenden Manuskripthinweise sorgfältig einzuhalten.

- Der Autor erklärt sich mit den Annahmebedingungen (siehe Impressum jedes Heftes) einverstanden.
- Der Autor übernimmt die Verantwortung dafür, daß die im Manuskript dargelegten Aussagen zur Veröffentlichung freigegeben sind. Eine Veröffentlichungsfreigabeerklärung (bzw. eine Kopie davon) durch den Betrieb oder die Institution ist der Redaktion als Anlage zum Manuskript zu übergeben.
- Das Manuskript ist der Redaktion einschließlich aller Bild- und Tafelvorlagen in doppelter Ausfertigung zu übergeben.
- Das Manuskript ist unpersönlich abzufassen, d. h., Sätze mit „wir", „ich" und abgeleiteten Formen sind zu vermeiden. Abkürzungen, die nicht im Duden erfaßt sind, sind ebenfalls zu vermeiden oder bei ihrem ersten Auftreten zu erklären.
- Die Zeitschrift msr gliedert sich in einen Aufsatz- und in einen Rubrikenteil. Der Aufsatzteil erscheint im Zweispaltensatz, der Rubrikenteil, der u. a. Messe- und Tagungsberichte, Technische Informationen, Kurzinformationen, Buchbesprechungen und ähnliches enthält, erscheint im Dreispaltensatz. Beiträge für den Aufsatzteil sollen möglichst nicht mehr als 12 Schreibmaschinenseiten (zweizeilig, 30 Zeilen zu je 60 Anschlägen) umfassen. Kurzbeiträge (s. msr, Berlin 23 (1980) 11, S. 651), die der schnellstmöglichen Bearbeitungsfrist unterliegen, sind umfangsmäßig auf 3 Schreibmaschinenseiten, maximal 2 Bilder oder Tafeln begrenzt. Beiträge für den Rubrikenteil sind im Normalfall sehr viel kürzer und sollen zweizeilig bei 30 Zeilen zu je 39 Anschlägen geschrieben sein. Für Buchbesprechungen gilt als Richtwert ein Umfang von etwa 50 Zeilen je Rezension.
- Jeder Autor hat seinem Beitrag eine Kurzvorstellung mit seinem beruflichen Werdegang beizulegen. Benötigt werden folgende Angaben: Name, Vorname, Alter, Titel, Studium (Fachrichtung, Bildungseinrichtung, Zeitraum), weitere wissenschaftliche Qualifikationen (Dissertationen u. ä.) mit Abschlußdatum, Arbeitsstellen nach dem Studium, jetzige Dienststellung.
- Der Beitrag ist nach der Zehnernumerierung zu gliedern [(Vorspann), 0. Einleitung, 1. . . ., 2. . . ., 3. . . ., 3.1. . . ., 3.2. . . ., 4. . . ., usw., Zusammenfassung].
- Die Literaturzusammenstellung soll auf einem Extrablatt erfolgen.

Beispiele:

[1] *Schacke, P.; Sfax, E.:* Ein Spannungs-Frequenz-Wandler. msr, Berlin 10 (1967) 3, S. 97–101.
[2] *Solodownikow, W. W.:* Bauelemente der Regelungstechnik. Bd. II. Korrektur- und Rechenglieder. Berlin: VEB Verlag Technik 1963.

Bei der Wiedergabe fremdsprachiger (außer englischer) Literaturstellen bitte Autor und Originaltitel transliterieren und zusätzlich den Originaltitel ins Deutsche übersetzen.

- Die Zusammenstellung der Bildunterschriften („Bild", nicht „Abb." oder „Figur") soll auf einem Extrablatt erfolgen. Die Tafelüberschriften („Tafel", nicht „Tabelle" oder „Aufstellung") müssen nicht extra ausgewiesen werden.
- Die Zusammenstellung der Fußnoten ist, mit [1]) beginnend, auf ein Extrablatt zu schreiben (außerdem muß die entsprechende Fußnote auf der betreffenden Textseite aufgeführt werden).
- Für Beiträge im Aufsatzteil ist eine etwa 8zeilige Zusammenfassung für den Inhaltsstreifen beizufügen.
- Hinsichtlich der Schreibweise, vornehmlich auch bei Abkürzungen, sind ausnahmslos die Richtlinien der jeweils aktuellen Ausgabe des Dudens zu befolgen.
- Besonders sorgfältig sind Symbole und Zeichen (einschließlich Indizes, Exponenten, Klammern usw.) in den mathematischen Gleichungen, chemischen Formeln usw. darzustellen. Es ist durchgängig das Internationale Einheitensystem (SI) zu verwenden. Bei griechischen Buchstaben (Buchstabenbild laut Duden) und anderen Zeichen, die zu Verwechselungen führen können, ist die Benennung mit Bleistift in Doppelklammern darüberzuschreiben [z. B. ((Ny)) über ν]. Doppel- oder Mehrfachindizes bzw. -exponenten sind in einer Zeile darzustellen.
- Vektoren (Kleinbuchstaben) sowie Matrizen und Mengen (Großbuchstaben) werden fett gedruckt und sind deshalb vom Autor schwarz zu unterstreichen. Es empfiehlt sich, diese Symbole auf einem Extrablatt gesondert aufzuführen.
- Im Manuskript ist auf eine deutliche Unterscheidung der Buchstaben und Ziffern 1, I, l und o, O, 0 zu achten.
- Es wird darauf orientiert, Beiträge durch Bilder aufzulockern und zu ergänzen. Bilder können Strichzeichnungen oder reproduzierbare Fotos sein. Strichzeichnungen sind nach den einschlägigen Vorschriften, Fachstandards und TGL'en auszuführen. Dabei sind saubere Bleistiftskizzen (keine Thermokopien) ausreichend, da alle Vorlagen noch einmal umgezeichnet werden. Groß- und Kleinbuchstaben in Bildern sind deutlich zu unterscheiden. In Textstellen in Bildern bitte keine Abkürzungen verwenden.
- Bilder und Tafeln sind mit durchlaufender Numerierung lose beizufügen, also nicht in den laufenden Text einzulegen oder einzukleben. Sie sind mit Schreibmaschine oder Bleistift auf dem linken Manuskriptseitenrand, mit „B 1" (d. h. Bild 1) bzw. „T 1" (d. h. Tafel 1) beginnend, an den Stellen zu markieren, an denen das entsprechende Bild bzw. die Tafel erscheinen soll. Darüber hinaus sind Hinweise auf die Bilder und Tafeln im Text [z. B. (Bild 1)] anzugeben.
- Ganze Worte in Großbuchstaben (Versalien) sind nur in zwingenden Fällen zu verwenden. Dies gilt für Text und Bild.
- Das in der Redaktion redigierte Manuskript wird, falls erforderlich, neu geschrieben. Der Autor erhält eine Kopie der Manuskriptumschrift und Xerokopien der Strichzeichnungen, um Korrekturen bzw. geringfügige Änderungen, die nur zu diesem Zeitpunkt noch möglich sind, mit Farbstift einzutragen.
- Von Beiträgen im Aufsatzteil werden dem Autor Umbruchabzüge (zweifach) zwecks Korrekturlesung zugesandt. Ein Exemplar der korrigierten Umbruchabzüge ist der Redaktion (nicht der Druckerei!) schnellstmöglich zuzuschicken, da der Zeitraun zwischen Auslieferung der Umbruchabzüge und dem Imprimatur des Heftes durch die Redaktion nur wenige Tage beträgt. Es empfielt sich, Korrekturen vorab telefonisch zu übermitteln.
- Der Autor erhält von seinem Beitrag (unverbindlich!) kostenlos je nach Umfang der Arbeit 10 bis 20 Fortdrucke.
- Bemerkungen zum Inhalt der Beiträge:
  An die Beiträge wird die Forderung gestellt, daß sie mit einer aussagefähigen Einleitung und einer informativen Zusammenfassung versehen sind. Die Einleitung soll in verbal verständlicher Weise das Anliegen und die grundsätzliche Aufgabenstellung des Beitrages beinhalten, in der Zusammenfassung werden die markantesten Ergebnisse bei der Lösung der Aufgabenstellung und gegebenenfalls ein Ausblick auf an den Beitrag anknüpfende Problemstellungen aufgeführt. Darüber hinaus wird von jedem Beitrag erwartet, daß er sich um ein hohes Maß an Anwendungsbezogenheit bemüht und die theoretischen Erkenntnisse an praktischen Beispielen illustriert werden.

msr BUCHBESPRECHUNGEN

Algorithmen der Mikrorechentechnik. Maschinenprogrammierung und Interpretertechniken des U 880. Von *B. Lampe*, *G. Jorke* und *N. Wengel*. 1. Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 364 Seiten, 230 Bilder, 2 Tafeln, 37,50 Mark.
Bestell-Nr. 553 224 6

Das Buch beschäftigt sich mit vier lose zusammenhängenden Problemkreisen, die bisher in der DDR-Fachliteratur noch nicht ausführlich behandelt wurden. Der erste Teil enthält Arithmetikprogramme für die Grundrechenarten. Bei binären Festkomma- und bei Dezimalzahlen werden jeweils mehrere interne Darstellungen und Algorithmen gegeben. Für binäre Gleitkommazahlen wird das beim K 1600 verwendete Format zugrunde gelegt. Behandelt werden auch Konvertierungen zwischen den verschiedenen Formaten sowie bei Ein- und Ausgaben.

Im weiteren wird auf die Berechnung von Funktionen und Bahnkurven eingegangen. Für die Auswertung der arithmetischen Standardfunktionen werden Algorithmen vorgeschlagen, die mit Polynomen bester Approximation oder mit den Verfahren der Pseudodivision und -addition arbeiten. Mit dieser Aufgabe verwandt ist die Berechnung der Bewegung von Punkten auf Bahnen von Kegelschnitten.

In diesen ersten beiden Teilen ihres Buches gehen die Autoren in der Regel so vor, daß sie zunächst einige mathematische Grundlagen behandeln und daraus geeignete Algorithmen ableiten. Diese werden dann in Struktogrammen dargestellt und für den U 880 implementiert. Zur Notation wird allerdings nicht die Assemblersprache dieses Mikroprozessors (Robotron K 1520) verwendet, sondern die ähnliche des Z 80 (Zilog). Die Programme sind gut kommentiert.

Der dritte Komplex beschäftigt sich mit der Implementierung eines Interpreters für Programme, die in einer Reversen Polnischen Notation geschrieben sind. In diesen Abschnitten treten leider Motivierung, Erläuterungen und Anwendungsbeispiele hinter dem Maschinenprogramm zurück.

Im letzten Teil wird kurz auf die Ein- und Ausgabe unter Nutzung von Schaltkreisen des Systems U 880 eingegangen. Als günstig sind dabei die Programmbeispiele hervorzuheben, die einige Standardfälle behandeln.

Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, daß in dem Buch eine Sammlung von Algorithmen und Programmen vorgelegt wird, die dem Praktiker zahlreiche Anregungen vermitteln kann, aber auch Anfängern eine Einführung in verschiedene Probleme der Systemprogrammierung zu bieten vermag.

B 1852 *D. Werner*

Elektrotechnologie. Von *H. Conrad* und *R. Krampitz* (Herausgeber). 1. Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 399 Seiten, 305 Bilder 85 Tafeln, 38,— Mark.
Bestell-Nr. 553 221 1

Die Autoren des Buches haben sich zum Ziel gesetzt, umfassend und anwendergerecht über die elektrotechnologischen Verfahren zu informieren. Elektrotechnologische Verfahren eröffnen aufgrund ihrer Vielfältigkeit und des breiten Spektrums ihrer Anwendung für den Technologen neue Möglichkeiten, insbesondere auf dem Gebiet der Stofformung für Gestalt- und Stoffeigenschaftsveränderungen zwecks rationeller Prozeßgestaltung bei Steigerung der Erzeugnisqualität. Elektrotechnologien, die durch Nutzung elektrophysikalischer Effekte thermisch, mechanisch oder chemisch bei der Be- oder Verarbeitung auf metallische und nichtmetallische Werkstoffe einwirken können, sind in bezug auf klassische Technologien material-, energie- und arbeitsstufensparend. Sie eröffnen neuartige technologische Möglichkeiten in vielen Zweigen der Volkswirtschaft.

Das Buch behandelt elektrothermische Verfahren (Widerstandserwärmung, Induktionserwärmung, dielektrische Erwärmung, Lichtbogenerwärmung, funkenerosive Metallbearbeitung), Elektrostrahlverfahren (Plasmastrahlverfahren, Elektronenstrahlverfahren, Laserstrahlverfahren), elektrochemische Verfahren (galvanotechnische Metallabscheidungsverfahren, Elektrophorese, elektrochemische Metallverarbeitung) und elektromechanische Verfahren (Ultraschallbearbeitung, Hochleistungsimpulsbearbeitung, elektrostatische Verfahren).

Die einzelnen Kapitel sind übersichtlich und anwenderfreundlich strukturiert. Zu den einzelnen Verfahren werden generell die physikalischen Grundlagen, die technologischen Anwendungsmöglichkeiten in Verbindung mit der anlagentechnischen Realisierung und ein Ausblick über die Entwicklungstendenzen gegeben. Der Anteil theoretischer und praktischer Information ist ausgewogen. Es ist im Rahmen des zur Verfügung stehenden Seitenumfanges gelungen, die wesentlichen physikalisch-technischen Grundlagen so aufzubereiten, daß ein hinreichendes Verständnis für die variationsreichen technologischen Verfahren erreicht wird. Das sorgfältig aufbereitete Bild- und Tafelmaterial ermöglicht eine knappe und prägnante Beschreibung und macht das Buch hochgradig anschaulich. Es ist sowohl für Studenten als auch für Ingenieure und Wissenschaftler der Produktionsvorbereitung ein wertvolles Arbeitsmittel.

Das Buch schließt eine wesentliche Lücke im technologischen Literaturangebot.

B 1856 *B. Schmidt*

Elektrohydraulische Servoantriebe. Von *R. Wächter*, *K. Littmann* und *S. Kietz*. Band 203 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 80 Seiten, 41 Bilder, 18 Tafeln, 4,80 Mark.
Bestell-Nr. 553 245 7

Der elektrisch stetig ansteuerbare hydraulische Stellantrieb spielt in der Automatisierung eine immer größere Rolle, deshalb ist es zu begrüßen, wenn der 6. Hydraulikband in der RA dieses aktuelle Thema behandelt. Nach einer Einführung über die Bedeutung und den Einsatz der Servoantriebe wird zunächst auf die Grundlagen des elektrohydraulischen Regelkreises und seine gerätetechnische Ausrüstung eingegangen.

Hierbei ist auch die Analogie der Hydraulik zur Elektrotechnik angesprochen, die gute Ansatzpunkte zur rechnerischen Erfassung hydraulischer Vorgänge bietet. Die Beschreibung der wichtigsten Servoventile und elektrohydraulischen Baugruppen mit Hilfe der Charakteristik und der technischen Daten geben dem Leser wertvolle Materialien für die Projektierung und Gestaltung solcher Systeme in die Hand. Auch die elektrischen Geräte, die zur Kombination notwendig sind, werden mit großer Sachkenntnis und in konzentrierter Form dargestellt. Schließlich werden auch die verfügbaren elektronischen Regler behandelt, die speziell für die Ansteuerung der Servoventile geschaffen wurden. In anschaulicher Form wird auf die theoretischen Grundlagen, wie Belastungs- und Auslegungskennlinien, Auslegungsalgorithmen sowie mathematische Beschreibung der Regelstrecke und des Regelkreises, eingegangen, die durch wertvolle Hinweise zur Reglereinstellung ergänzt sind.

Sicher werden auch das Dimensionierungsbeispiel für eine translatorische Lageregelung zur Positionierung eines Maschinenschlittens sowie Optimierungshinweise dem Anwender sehr nützlich sein.

Abschließend wird über mikrorechnergesteuerte Servoantriebe informiert. Aus allen Darstellungen ist ersichtlich, daß die Autoren es verstanden haben, die teilweise schwierige Thematik klar und gut verständlich darzustellen und dabei ihre wertvollen Erfahrungen denen zu vermitteln, die in den nächsten Jahren Servotechnik zur Lösung ihrer Automatisierungsprobleme einsetzen werden.

B 1854 *G. F. Berg*

K. Reinschke; H.-W. Röder; G.-S. Rösel[1])

Strukturmodell für komplexe Automatisierungsanlagen und seine Anwendung in der Kraftwerksautomatisierung

0. Einleitung

Die Automatisierung von Kraftwerksprozessen kann als ein charakteristischer Fall für die Automatisierung komplexer, großer Systeme angesehen werden. Neben den Problemen, die sich aus dem großen Umfang der technologischen Anlage und der Verflechtung der in ihr ablaufenden Prozesse ergeben, erscheint gleichbedeutend die Aufgabe, die sichere und möglichst gute Beherrschung vielfältiger Betriebsweisen zu ermöglichen. In den diversen Betriebsfällen, z. B.

— verschiedene An- und Abfahrvorgänge
— planmäßiger Wechsel von Aggregaten
— verschiedene Lastfahrweisen

und auch bei unvorhersehbaren Störungen, z. B.

— Aggregateausfall
— Hilfsenergieausfall in einzelnen Anlagenteilen
— Störungen in Teilen des Automatisierungssystems

soll die Gesamtanlage sicher und betriebsfähig bleiben. Die vielfältigen Betriebsweisen stellen unterschiedliche Anforderungen an die Automatisierungseinrichtung einer entsprechenden technologischen Einheit. Aus technischen und ökonomischen Gründen ist es nicht möglich, jedem einzelnen Betriebsfall eine spezielle Hardwarekonfiguration zuzuordnen. Vielmehr muß eine einzige Hardwarestruktur mit Hilfe entsprechender Software so flexibel gestaltet werden können, daß alle auftretenden Betriebsfälle im Sinne einer brauchbaren Kompromißlösung beherrscht werden. Hierzu stehen die Bedienelemente der Leittechnik zur Verfügung, mit deren Hilfe auf logische Schaltungen eingewirkt wird, die ihrerseits Änderungen in der Automatisierungsstruktur auslösen. Mit den gestiegenen Forderungen an die Flexibilität der Automatisierungseinrichtungen ist der Aufwand zur Projektierung dieses Logikteiles auf ein Vielfaches gegenüber dem für die Auslegung des Analogteiles angewachsen. Es sei betont, daß auch der Übergang zum Einsatz der Mikrorechentechnik für bislang analog verarbeitete Signale an diesem Sachverhalt nichts ändert. Infolge des Arbeitsumfanges besonders bei der Projektierung von größeren Automatisierungsstrukturen (z. B. Blockleistungsregelung von Duo-Blöcken) ist eine objektivierbare methodische Basis zur Überprüfung und Beurteilung der Funktionstüchtigkeit der projektierten Anlage hilfreich, denn auch für einen erfahrenen Projektanten geht in solchen Fällen die Übersicht verloren, so daß er sich nicht mehr allein auf seinen Erfahrungsschatz verlassen kann. Leider stellt die traditionelle Regelungstheorie für diese praktischen Bedürfnisse keine angemessenen Lösungswege bereit. Auch mit Hilfe von numerischen Simulationsstudien wird man das Problem nicht lösen können, weil

— die dazu erforderlichen Zahlenangaben dem Projektanten oft nicht zur Verfügung stehen
— die Vielzahl der zu untersuchenden Varianten nicht bewältigt wird.

Die zu untersuchende automatisierte Anlage (Bild 1) ist ein komplexes System, das folgende Kennzeichen hat:

a) Die Abbildung der Vorgänge in den technologischen Prozessen ist durch nichtlineare gewöhnliche Differentialgleichungssysteme adäquat möglich.
b) Die „Logik" umfaßt kombinatorische und speichernde Logikelemente, in denen Laufzeiteffekte bedeutsam sind.
c) Analoge und binäre Signalverarbeitung sind stark miteinander verknüpft.

Die so charakterisierte Systemklasse läßt sich mit Hilfe des im folgenden erläuterten Strukturmodells systematisch untersuchen. Damit bietet dieses Modell eine sinnvolle und geeignete theoretische Ausgangsbasis zur Klärung der genannten praktischen Probleme. Deren Bearbeitung sollte grundsätzlich in zwei Schritten erfolgen:

1. Aussondern strukturell fehlerhafter Entwurfsvarianten mit Hilfe des Strukturmodells der komplexen automatisierten Anlage
2. Quantitative Untersuchung der strukturell einwandfreien Varianten.

Damit wird der Umfang der z. B. durch Simulation quantitativ zu untersuchenden Varianten drastisch reduziert, so daß er in vielen Fällen überhaupt erst bewältigt werden kann. Es ist das Anliegen dieses Beitrages,

— das Strukturmodell für komplexe automatisierte Anlagen zu gewinnen

[1]) Doz. Dr.-Ing. habil. Dr. rer. nat. *Kurt Reinschke* (43) studierte von 1958 bis 1963 Mathematik und Physik an der TH Dresden. Anschließend bis 1965 wissenschaftlicher Assistent am Bereich Wahrscheinlichkeitsrechnung und Mathematische Statistik der TU Dresden. Von 1965 bis 1978 im WTZ Elektronische Meßtechnik bzw. im VEB RFT Meßelektronik Dresden, dort Leiter einer Forschungs- und Entwicklungs-Abteilung. 1966 Promotion A zum Dr.-Ing. auf dem Gebiet der Elektrotechnik und 1969 zum Dr. rer. nat. auf dem Gebiet der Mathematik. 1971 Habilitation auf dem Gebiet der Systemzuverlässigkeit. Seit 1968 ständig nebenamtliche Hochschullehrtätigkeit, 1970 Facultas Docendi, 1971 Berufung zum Honorardozenten. 1978 Wechsel zum Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR, dort im IT Dresden bis 1981 Leiter des Bereiches Regelungssysteme, seither wissenschaftlicher Mitarbeiter und Beauftragter für die HFR „Regelungssysteme".

Dr.-Ing. *Heinz-Werner Röder* (38) studierte von 1964 bis 1969 Regelungstechnik an der TH „Otto von Guericke" Magdeburg. Von 1969 bis 1980 Entwicklungsingenieur im VEB GRW Teltow, Betriebsteil Berlin. 1980 Promotion A. Seit 1980 Gruppenleiter im VEB Kombinat Kraftwerksanlagenbau Berlin.

Dr.-Ing. *Gert-Steffen Rösel* (34) studierte von 1969 bis 1973 Verfahrenstechnik an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg. Von 1973 bis 1977 wissenschaftlicher Assistent an der IH Zittau. Von 1977 bis 1982 Projektant im VEB Kombinat Kraftwerksanlagenbau Berlin. 1980 Promotion A. Seit 1983 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Rechentechnik der AdW der DDR in Berlin.

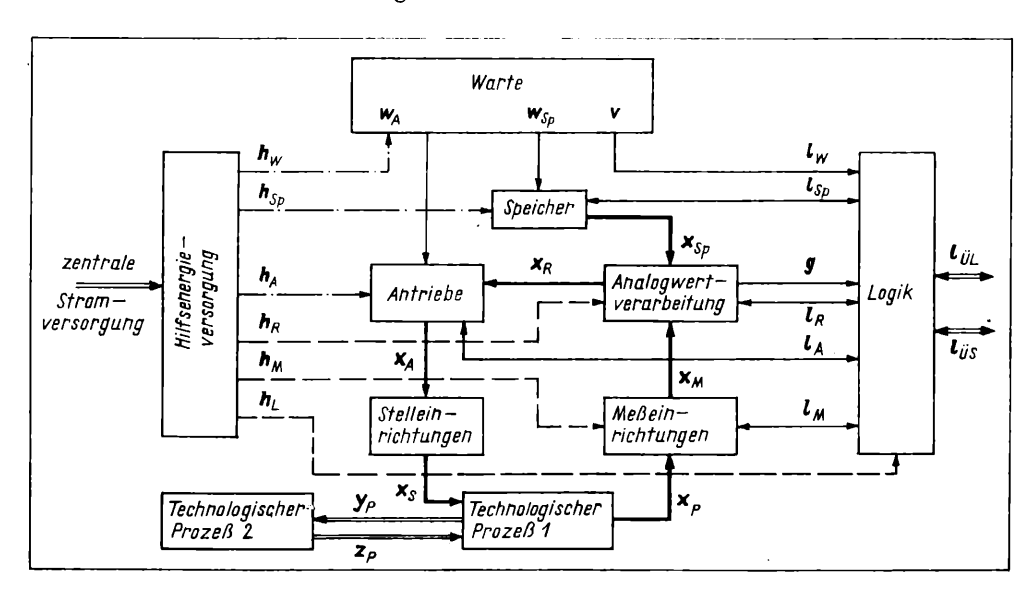


Bild 1. Strukturschema der betrachteten Systemklasse

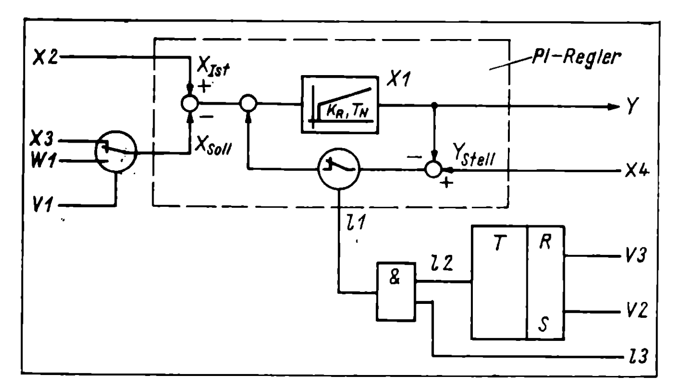


Bild 2. Beschalteter PI-Regler

- die Aufstellung der dafür erforderlichen Strukturmatrizen zu erläutern
- das Strukturmodell zur Ermittlung der potentiellen Steuerbarkeit der Anlage heranzuziehen.

Als Erläuterungsbeispiel dient ein automatisierter Teilprozeß eines konventionellen Kraftwerkes.

1. Beschreibung der Systemklasse

Bild 1 veranschaulicht die Grobstruktur der betrachteten Systeme. Der technologische Prozeß (TP1) kommuniziert über Stoff- und Energieaustausch mit anderen angrenzenden technologischen Prozessen (TP2). Dieser Austausch vollzieht sich über die kontinuierlichen Störgrößen $\boldsymbol{z}_p$ bzw. die Ausgangsgrößen $\boldsymbol{y}_p$. Im Vektor $\boldsymbol{x}_p$ werden die Zustandsvariablen des Prozesses TP1 zusammengefaßt, die der Meßeinrichtung zugeführt werden, während die Zustandsteilvektoren $\boldsymbol{x}_S$ und $\boldsymbol{x}_A$ die Dynamik von Stelleinrichtungen und Antrieben beschreiben. Entsprechend wird durch die in den Vektoren $\boldsymbol{x}_M$ und $\boldsymbol{x}_R$ erfaßten Zustandsvariablen die Dynamik der Meßeinrichtungen und der Analogwertverarbeitung (z. B. die Integratoren der Regler und dynamische Signalaufschaltungen) erfaßt. Da die Struktur des automatisierten Systems nicht nur von den kontinuierlichen Signalen, sondern in entscheidendem Maße von binären Signalen abhängt, umfaßt das System auch diese Größen.

Die besondere Bedeutung der binären Signale für das Gesamtsystem wird mit den vielfältigen Signalpfaden von logischen Signalen $\boldsymbol{l}$ verdeutlicht. Mit den binären Signalen $\boldsymbol{v}$ und $\boldsymbol{w}$ beeinflußt der Anlagenfahrer von der Warte aus Prozeß- und Automatisierungsanlage. Der Vektor $\boldsymbol{v}$ enthält solche binären Signale, die logische Abläufe initiieren, aus deren Wirkungskette letztlich ein logisches Signal (d. h. Element von $\boldsymbol{l}$) hervorgeht (z. B. die Umschaltung eines Tores (Bild 2)). Ein Beispiel hierfür ist die Umschaltung Hand/Automatik. Der Vektor $\boldsymbol{w}$ faßt solche binäre Signale zusammen, die ggf. unter Zwischenschaltung logischer Operationen (z. B. Verriegelungen) am Ende der Wirkungskette eine geänderte analoge Größe aufweisen (z. B. höherer Sollwert). Ein Beispiel dafür ist das Signal „interner Sollwert — niedriger". Einen besonderen Fall stellt die Einwirkung einzelner w_i auf Speicher (mit den Zustandsvariablen $\boldsymbol{x}_{sp}$) dar.

Außer diesen binären Signalen wirken, entsprechend verarbeitet, Grenzwerte $\boldsymbol{g}$ aus dem Prozeß auf die Logik sowie aus anderen Teilprozessen oder übergeordneten Führungsebenen die Signale $\boldsymbol{l}_ü$.

Die zur Betriebsbereitschaft der Systemteile erforderlichen Hilfsenergien werden im Vektor $\boldsymbol{h}$ zusammengefaßt. Die Berücksichtigung dieser Signale im Konzept erlaubt es, sowohl die Auswirkung des Ausfalls einzelner Hilfsenergien als auch die Aufteilung der Hilfsenergien auf verschiedene Versorgungskomplexe zu untersuchen.

2. Strukturmodell für die betrachtete Systemklasse

Die zeitliche Änderung des Zustandes $\boldsymbol{x}(t)$ der automatisierten Gesamtanlage (vgl. Bild 1) kann man — bei Nichtbeachtung des Einflusses des Störgrößenvektors $\boldsymbol{z}_p(t)$ — durch den folgenden formalen Ansatz beschreiben

$$\dot{\boldsymbol{x}}(t) = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}(t), \boldsymbol{l}(t), \boldsymbol{h}(t), \boldsymbol{v}(t), \boldsymbol{w}(t); t) \quad \text{für} \quad t \geqq 0 \qquad (1)$$

oder, in zeitdiskreter Darstellung,

$$\boldsymbol{x}_{t+1} = \boldsymbol{f}_t(\boldsymbol{x}_t, \boldsymbol{l}_t, \boldsymbol{h}_t, \boldsymbol{v}_t, \boldsymbol{w}_t) \quad \text{für} \quad t = 0, 1, 2, \ldots \qquad (2)$$

Die Zahl der Komponenten des Zustandsvektors $\boldsymbol{x}$ sei n, die des „Steuervektors" $\boldsymbol{w}$ sei m.

Dem Gleichungssystem (2) wird für jeden Zeitpunkt t eine Strukturmatrix $[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}]_t$ wie folgt zugeordnet:
$[\boldsymbol{A}]_t$ ist eine Boolesche $n \times n$-Matrix und $[\boldsymbol{B}]_t$ ist eine Boolesche $n \times m$-Matrix, deren Elemente entweder „L" oder „0" sind;

$$a_{ij}(t) = \begin{cases} \text{L} & \\ & \text{, wenn } x_{jt} \text{ in } f_{it} \\ 0 & \end{cases} \begin{matrix} \text{vorkommt} \\ \\ \text{nicht vorkommt} \end{matrix} \qquad (3)$$

$$b_{ik}(t) = \begin{cases} \text{L} & \\ & \text{, wenn } w_{kt} \text{ in } f_{it} \\ 0 & \end{cases} \begin{matrix} \text{vorkommt} \\ \\ \text{nicht vorkommt} . \end{matrix} \qquad (4)$$

Es sei betont, daß die Elemente der Strukturmatrix $[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}]_t$ logische Funktionen von $\boldsymbol{v}_t$, $\boldsymbol{l}_t$, $\boldsymbol{h}_t$ sind. Daher kann z. B. durch Auslösung eines $\boldsymbol{v}$-Signals in der Warte oder durch Änderung des $\boldsymbol{h}$-Vektors infolge Ausfalls einer bestimmten Hilfsenergieart das Strukturmuster der Matrix $[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}]$ stark verändert werden.
Aufgrund des Wirkens von Speicherlogikbausteinen können die binären Signale, die im Vektor $\boldsymbol{l}_t$ zusammengefaßt wurden, auch von den Werten, die die Eingangssignale des Logik-Blocks (insbesondere $\boldsymbol{v}$, $\boldsymbol{g}$ und $\boldsymbol{h}_L$) zu früheren Zeitpunkten angenommen hatten, abhängen. Durch mathematische Modellierung der Wirkungsweise der speichernden Logik-Bauglieder (Flip-Flops, diverse Zeitglieder), auf die in einer anderen Arbeit detaillierter eingegangen werden soll, gelingt es, die Elemente der Strukturmatrix $[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}]_t$ in Abhängigkeit von den Eingangssignalen $\boldsymbol{v}_0, \boldsymbol{v}_1, \ldots, \boldsymbol{v}_t$; $\boldsymbol{h}_0, \boldsymbol{h}_1, \ldots, \boldsymbol{h}_t$; $\boldsymbol{g}_0, \boldsymbol{g}_1, \ldots, \boldsymbol{g}_t$, $\boldsymbol{l}_{ü0}, \boldsymbol{l}_{ü1}, \ldots, \boldsymbol{l}_{üt}$; $\boldsymbol{w}_0, \boldsymbol{w}_1, \ldots, \boldsymbol{w}_t$, den Speicherzuständen zum Zeitpunkt 0 und der Zeit t darzustellen:

$$a_{ij}(t) = a_{ij}(\boldsymbol{v}_0, \ldots, \boldsymbol{v}_t; \boldsymbol{h}_0, \ldots, \boldsymbol{h}_t; \boldsymbol{g}_0, \ldots, \boldsymbol{g}_t; \ldots; t) , \qquad (5)$$

$$b_{ik}(t) = b_{ik}(\boldsymbol{v}_0, \ldots, \boldsymbol{v}_t; \boldsymbol{h}_0, \ldots, \boldsymbol{h}_t; \boldsymbol{g}_0, \ldots, \boldsymbol{g}_t; \ldots; t) , \qquad (6)$$

$(i, j = 1, \ldots, n;\ k = 1, \ldots, m)$.

Die Strukturmatrizen $[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}]_t$ ($t = 0, 1, 2, \ldots$) liefern ein zeitabhängiges Strukturmodell für ein komplexes automatisiertes System (vgl. Bild 1). Damit wurde eine Beschreibung des Systems gefunden, die für die derzeitig im Entstehen begriffene „strukturelle Regelungstheorie" (vgl. [2] und die dort zitierte Literatur) grundlegend ist. In der strukturellen Regelungstheorie wurde bisher gezeigt, daß wesentliche Aussagen zur Analyse und Synthese linearer Regelungssysteme durch Untersuchung von Strukturmatrizen abgeleitet werden können. Die hier aufgestellten Strukturmodelle für komplexe automatisierte Systeme zeigen keine prinzipiellen Unterschiede zu den Strukturmodellen für lineare zeitvariable Regelungssysteme. Folglich liegt es nahe, die in der strukturellen Regelungstheorie bewiesenen Ergebnisse auch auf komplette automatisierte Systeme anwenden zu wollen. In diesem Beitrag wird die Anwendung des Konzepts der strukturellen Steuerbarkeit erläutert.

Über die strukturelle Steuerbarkeit kann bekanntlich (vgl. [1] und die dort zitierte Literatur) allein durch Untersuchung der Strukturmatrix $[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}]$ oder, damit gleichwertig, des Strukturgraphen $G(\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B})$ entschieden werden. Die folgenden beiden Bedingungen stellen ein notwendiges und hinreichendes Kriterium dar. Strukturelle Steuerbarkeit liegt genau dann vor, wenn die Bedingungen

1. Eingangsverbundenheit, d. h., im Graphen $G(\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B})$ führt zu jedem Zustandsknoten ein Weg von mindestens einem Eingangsknoten
2. kein struktureller Rangabfall, d. h.

$$\text{Rg}\,[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}] = n$$

erfüllt sind.

3. Erzeugung und Analyse der Strukturmatrizen

Die Strukturmatrizen $[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}]_t$ sind das Ergebnis der Modellbildung der Gesamtanlage. Hinsichtlich der Modellierung sind die unterschiedlichen Anlagenteile verschieden zu behandeln. Die Modelle der Logikteile werden als Boolesche Modelle formuliert. Eine exakte Erfassung ist hier von wesentlicher Bedeutung, insbesondere wegen der Zeitabhängigkeit des Vektors $\boldsymbol{l}$ der logischen Signale. Von den „Analogteilen" dagegen wird nicht das quantitative nichtlineare Differentialgleichungssystem (DGLS) benötigt. Hier genügt die Angabe der Struktur der DGL. Diese Struktur ist in ihrem Wesen nach ebenfalls vom Booleschen Typ: entweder eine Abhängigkeit liegt vor oder sie liegt nicht vor. Damit ist die für den Analogteil zu erbringende Modellierungsarbeit erheblich leichter als bei der Modellierung zur quantitativen Simulation, wo bekanntlich das Problem der Datenbeschaffung, -aufbereitung und -abstimmung großen Arbeitsaufwand erfordert. Die zur Modellbildung für strukturelle Untersuchungen erforderliche Information liegt, da sie nicht auf solche

Tafel 1. Zustandsvariable x, Steuervariable w und v für den Anwendungsfall

1. Zustandsvariable

a) Zustandsvariable der technologischen Anlage
x_1 Wasserstand des Separators; x_2 Separatordruck; x_3 Wasservolumen-Verdampfer; x_4 Temperatur im Economizer; x_5 Temperatur nach Economizer; x_6 Temperatur nach Mischpunkt; x_7 Frischdampfdruck

b) Zustandsvariable der Stellglieder
x_8 Stellung Speisewasserregelventil; x_9 Stellung Sattwasserregelventil 1; x_{10} Stellung Sattwasserregelventil 2

c) Zustandsvariable der Meßglieder
x_{11} Speisewassercharge; x_{12} Messung von x_1; x_{13} Messung von x_2; x_{14} Frischdampfmenge; x_{15} Frischdampfdruck; x_{16} Frischdampftemperatur; x_{17} Sattwassermenge 1; x_{18} Sattwassermenge 2

d) Zustandsvariable der Regler (I-Anteile)
x_{19} Regler Wasserstand/Speisewasserregelung; x_{20} Regler Speisewasserstrom; x_{21} Regler Sattwasserstrom; x_{22} Regler Wasserstand/Sattwasserregelung

e) Zustandsvariable der Sollwertspeicher (interne Sollwerte)
x_{23} interner Sollwert über Speisewasserregelung; x_{24} interner Sollwert Sattwasserabführung; x_{25} interner Sollwert über Sattwasserregelung

f) Zustandsvariable der Meßwertverarbeitung (D-Aufschaltungen)
x_{26} DT_1-Glied zu x_{11}; x_{27} DT_1-Glied zu x_{14}; x_{28} DT_1-Glied zu x_{17}

2. Steuersignale w

w_1 Leitgerät 1 Auf/Zu (Hand); w_2 Leitgerät 1 Sollwert Hoch/Tief; w_3 Leitgerät 1 interner Sollwert Sattwasserabführung; w_4 Leitgerät 2 Auf/Zu (Hand); w_5 Leitgerät 2 Sollwert Hoch/Tief

3. Steuersignale v

v_1 Leitgerät 1 Hand; v_2 Leitgerät 1 Automatik; v_3 Leitgerät 1 Sollwert Intern; v_4 Leitgerät 1 Sollwert Extern; v_5 Leitgerät 2 Hand; v_6 Leitgerät 2 Automatik; v_7 Leitgerät 2 Sollwert Intern; v_8 Leitgerät 2 Sollwert Extern

Daten zurückgreifen muß, bereits in sehr frühen Projektstadien vor und kann auch leicht bei eintretenden Projektänderungen aktualisiert werden.

Am Beispiel des im Bild 2 angegebenen beschalteten PI-Reglers, wie er häufig in Baugliedplänen von BMSR-Projekten auftritt, soll die Erzeugung der Strukturmatrizen demonstriert werden. Der I-Anteil des Reglers soll als Zustandsvariable x_1 definiert werden. Der Istwerteingang sei durch eine andere Zustandsvariable x_2 belegt. Der Sollwerteingang wird über ein Tor gesteuert. Entweder wird die Zustandsvariable x_3 oder aber das Wartensignal w_1 durchgeschaltet. Als Ansteuerung des Tores dient das Wartensignal v_1. Die Stellungsrückführung ist mit x_4 beschaltet. Sie wird jedoch nur wirksam, wenn das binäre Signal l_1 anliegt. Dieses Signal ergibt sich aus der logischen UND-Verknüpfung des Flip-Flop-Ausgangs l_2 und eines weiteren, in anderen Anlagenteilen erzeugten Signals l_3. Eingänge des Flip-Flop sind die Wartensignale v_2 und v_3 (Sollwert Intern/Extern). Außerdem liegt das Hilfsenergiesignal h_1 an.

Das Modell des von außen unbeschalteten Reglers ist mit den folgenden Gleichungen gegeben:

$$y = y_{\mathrm{I}} + y_{\mathrm{P}},$$

$$y_{\mathrm{P}} = k_{\mathrm{R}}(x_{\mathrm{ist}} - x_{\mathrm{soll}}),$$

$$\dot{y}_{\mathrm{I}} = \begin{cases} \dfrac{k_{\mathrm{R}}}{T_{\mathrm{N}}}(x_{\mathrm{ist}} - x_{\mathrm{soll}}) & \text{für } l_1 = \mathrm{L},\ h_1 = \mathrm{L} \\ \dfrac{k_{\mathrm{R}}}{T_{\mathrm{N}}}[(x_{\mathrm{ist}} - x_{\mathrm{soll}}) + (y_{\mathrm{stell}} - y)] & \text{für } l_1 = 0,\ h_1 = \mathrm{L} \\ 0 & \text{für } h_1 = 0 \end{cases}$$

Die spezielle Beschaltung ist Bild 2 zu entnehmen

$$x_{\mathrm{ist}} = x_2,$$

$$y_{\mathrm{stell}} = x_4,$$

$$x_{\mathrm{soll}} = \begin{cases} x_3 & \text{für } v_1 = 0, \\ w_1 & \text{für } v_1 = \mathrm{L} \end{cases}$$

$$\left.\begin{aligned} l_1 &= l_2 l_3, \\ l_{2,\mathrm{t}} &= v_3 \vee \bar{v}_2 l_{2,\mathrm{t-1}}. \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

Damit erhält man für die zeitliche Änderung der Zustandsvariablen x_1 die folgenden Abhängigkeiten

$$\dot{x}_1 = \begin{cases} f_1(x_2, x_3) & \text{für } l_1 = \mathrm{L}, h_1 = \mathrm{L}, v_1 = 0, \\ f_2(x_2, w_1) & \text{für } l_1 = \mathrm{L}, h_1 = \mathrm{L}, v_1 = \mathrm{L}, \\ f_3(x_2, x_3, x_4, x_1) & \text{für } l_1 = 0, h_1 = \mathrm{L}, v_1 = 0, \\ f_4(x_2, x_4, x_1, w_1) & \text{für } l_1 = 0, h_1 = \mathrm{L}, v_1 = \mathrm{L}, \\ 0 & \text{für } h_1 = 0. \end{cases}$$

Daraus läßt sich die erste Zeile der Strukturmatrizen $[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}]$ entnehmen

$$a_{11} = \bar{l}_1 h_1 \bar{v}_1 \vee \bar{l}_1 h_1 v_1 = \bar{l}_1 h_1,$$

$$a_{12} = h_1,$$

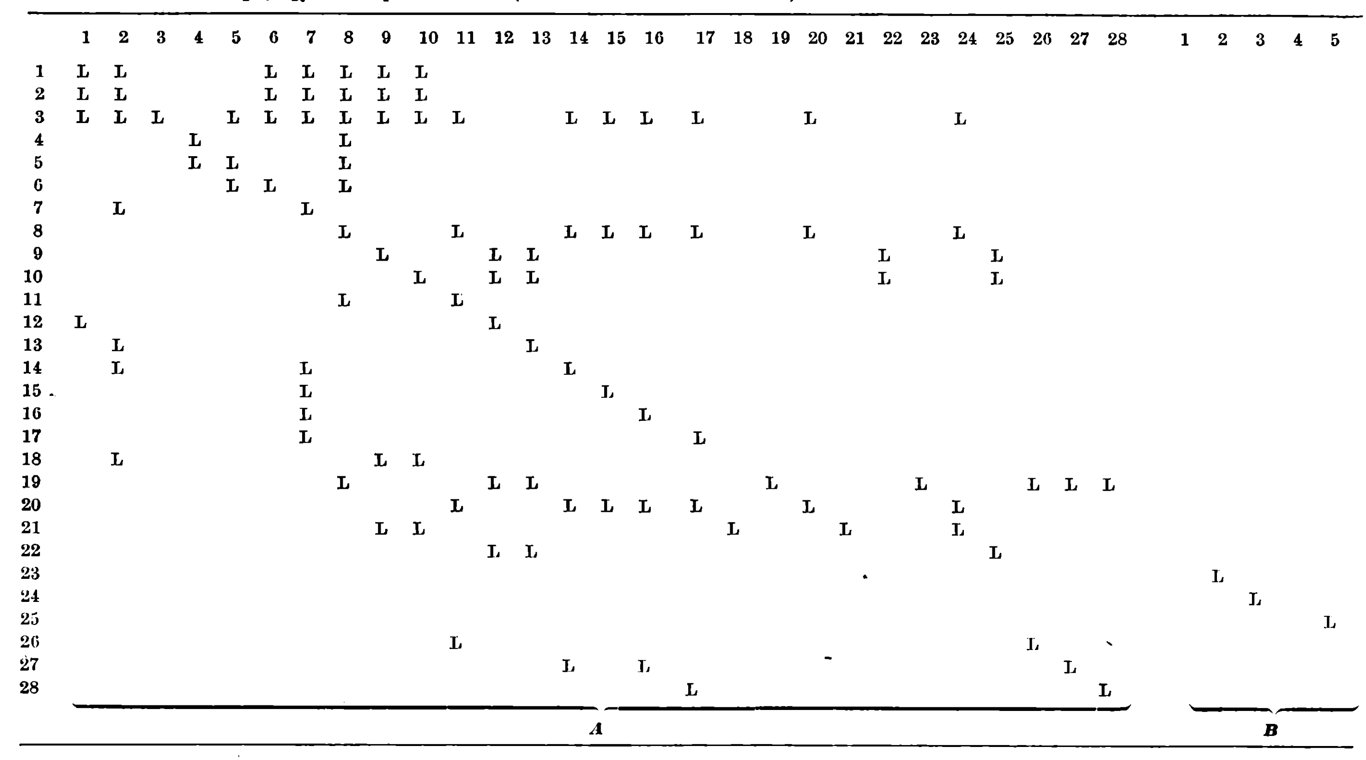
$$a_{13} = \bar{v}_1 h_1,$$

$$a_{14} = a_{11} = \bar{l}_1 h_1,$$

$$b_{11} = v_1 h_1.$$

Tafel 2. Strukturmatrizen $[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}]_t$ zum Zeitpunkt $t = 30$ s (Fall nicht vorhandener s-Steuerbarkeit)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	1	2	3	4	5
1	L	L				L	L	L	L	L																							
2	L	L				L	L	L	L	L																							
3	L	L	L		L	L	L		L	L																							
4				L				L																									
5				L	L			L																									
6				L	L			L																									
7		L					L																										
8																																	
9									L			L	L									L			L								
10										L		L	L									L			L								
11											L																						
12	L											L																					
13		L											L																				
14		L					L							L																			
15							L								L																		
16							L									L																	
17							L										L																
18		L							L	L								L															
19								L				L	L						L				L			L	L	L					
20								L			L			L	L	L	L			L				L									
21									L	L								L			L			L									
22												L	L												L								
23																														L			
24																															L		
25																																	
26											L															L							L
27														L		L											L	L					
28																	L																
														A																	**B**		



Tafel 3. Strukturmatrizen $[A, B]_t$ zum Zeitpunkt $t = 36$ s (Fall vorhandener s-Steuerbarkeit)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	1	2	3	4	5
1	L	L				L	L	L	L	L																							
2	L	L				L	L	L	L	L																							
3	L	L	L		L	L	L	L	L	L	L			L	L	L	L			L				L									
4				L				L																									
5				L	L			L																									
6					L	L		L																									
7		L					L																										
8								L			L			L	L	L	L			L				L									
9									L			L	L									L			L								
10										L		L	L									L			L								
11								L			L																						
12	L											L																					
13		L											L																				
14		L					L							L																			
15							L								L																		
16							L									L																	
17							L										L																
18		L							L	L																							
19								L				L	L						L				L			L	L	L					
20											L			L	L	L	L			L				L									
21									L	L								L			L			L									
22												L	L												L								
23																														L			
24																															L		
25																																	L
26											L															L							
27														L		L											L						
28																	L											L					
														A																	*B*		

Mit Hilfe von (7) kann man l_1 eliminieren und $a_{11}(t) = a_{14}(t)$ in Abhängigkeit von Eingangssignalen und dem Speicherzustand im vorangehenden Zeittakt darstellen

$$a_{11}(t) = a_{14}(t) = h_{1t}(\bar{l}_{3t} \vee \bar{l}_{2,t}),$$

$$= h_{1t}(\bar{l}_{3t} \vee [\bar{v}_{3t}(v_{2t} \vee \bar{l}_{2,t-1})])\,.$$

Daraus ergibt sich

$$a_{11}(t) = a_{14}(t) =$$

$$= h_{1t}(\bar{l}_{3t} \vee [\bar{v}_{3t}(v_{2t} \vee \{\bar{v}_{3,t-1}[v_{2,t-1} \vee \bar{l}_{2,t-2}]\})]),$$

usf.

Hat man für jeden Zeittakt das benötigte Paar $[A, B]_t$ bestimmt, so kann es mit dazu bereitgestellten Algorithmen analysiert werden. Diese Analyse umfaßt sowohl die Bestimmung des strukturellen Ranges als auch die Untersuchung der Eingangsverbundenheit.

Als Ergebnis der Rechnung steht fest, ob alle Zustandsvariablen eingangsverbunden sind bzw. welche Zustandsvariablen es nicht sind. Ebenso ist nun bekannt, welchen strukturellen Rang das Paar $[A, B]_t$ hat und welche Zustandsvariablen vom Algorithmus als Verursacher des Rangabfalles angesehen werden. Programmtechnisch wird die Analyse nur dann vorgenommen, wenn sich die Belegung von $[A, B]$ geändert hat.

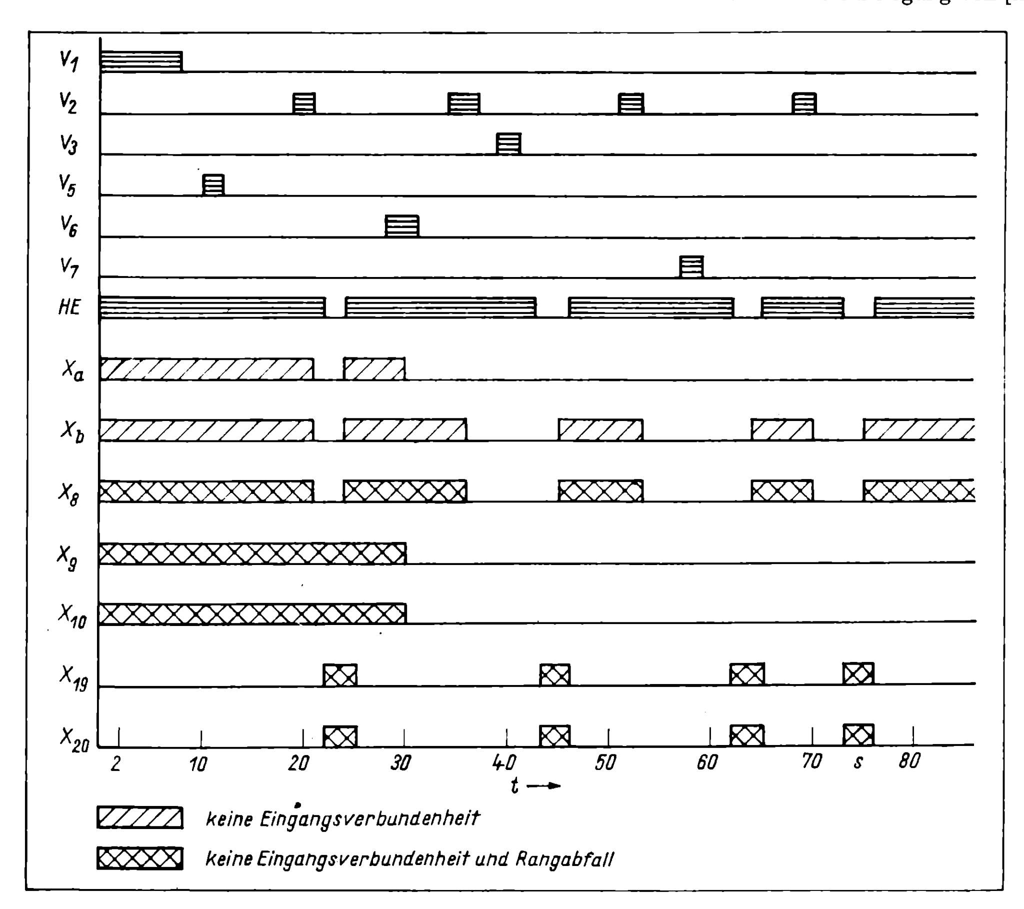


Bild 3. Auswirkungen ausgewählter Steuersignale auf die Struktureigenschaften des Systems

x_a steht für x_1, x_2, x_3, x_7, x_{12} bis x_{18}, x_{25} bis x_{28};
x_b steht für x_4, x_5, x_6, x_{11}, x_{26}

4. Anwendung auf eine Wasserstand-Sattwasser-Regelung

Die beschriebene Methode wurde auf den automatisierten Teilprozeß „Speisewasser-Verdampfer-System“ eines 500-MW-Kraftwerksblockes angewendet. Das System umfaßt 4 Regelkreise, die über analoge und binäre Signale stark miteinander verkoppelt sind. Jedem Regelkreis ist ein PI-Regler zugeordnet. Das Automatisierungssystem erhält prozeßseitig Information über 7 Meßglieder und greift über 3 Stellglieder, die zustandsabhängig wirksam werden, in den technologischen Prozeß ein. Die gesamte Struktur ist 28. Ordnung. Über die Leitgeräte wird mit 7 Signalen des Typs $\boldsymbol{v}$ und 5 Signalen des Typs $\boldsymbol{w}$ der Prozeß gesteuert. Aus dem Prozeß können außerdem 2 Grenzwertsignale $\boldsymbol{g}$ hervorgehen, und 1 Signal $\boldsymbol{l}_{\ddot{u}}$ kann übergeordnet auf das System einwirken. Für diese Untersuchungen sind 3 verschiedene Hilfsenergien relevant. Neben der hydraulischen Hilfsenergie wurden die für die Fahrweise „Normalbetrieb“ explizit berücksichtigt. Tafel 1 zeigt eine Aufstellung aller Signale und Größen, die das System charakterisieren.

Zwei Matrixbelegungen, wie sie bei der Untersuchung auf strukturelle Steuerbarkeit im untersuchten Fall auftreten, sind den Tafeln 2 und 3 zu entnehmen. Die erste entspricht dem Zustand des Prozesses, der in der im Bild 3 dargestellten Bediensequenz nach $t = 30$ s eintritt und bis $t = 35$ s anhält. Dabei tritt der Rangabfall 1 auf, für den der Algorithmus x_8 verantwortlich macht. Es sind außerdem x_5, x_6, x_4, x_8, x_{11} und x_{26} nicht eingangsverbunden. Die zweite Belegung tritt bei $t = 36$ s ein. Durch die Schaltung von v_2 wird (nach der entsprechenden Signallaufzeit im Logikteil) diese Belegung herbeigeführt, die einen strukturell steuerbaren Zustand des Systems darstellt.

Bild 3 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen bezüglich der strukturellen Steuerbarkeit des Systems hinsichtlich Sollwertänderungen vom Leitgerät aus, d. h., für diese Untersuchungen sind w_2, w_3 und w_5 als L-Signale gesetzt, während w_1 und w_4 unberücksichtigt bleiben (0-Signale). Beim Zeitpunkt $t = 0$ beginnend werden nun nacheinander verschiedene Schaltungen der $\boldsymbol{v}$-Signale vorgenommen und dabei jeweils die Änderungen der Eingangsverbundenheit bzw. des strukturellen Ranges angegeben.

Gemäß Definition stehen zum Zeitpunkt $t = 0$ beide Leitgeräte (LG) im Zustand „Hand“ bereit sowie LG1 „Intern“ und LG2 „Extern“. Entsprechend darf die Bedienung von v_1 und v_5 keine relevanten Strukturänderungen bewirken. Im „Hand“-Zustand können x_8, x_9 und x_{10} nicht über Sollwertänderungen beeinflußt werden. Der entsprechende Rangabfall weist das aus. Bei $t = 18$ s wird LG2 auf „Automatik“ gestellt. Nach 2 s Laufzeit wird dadurch x_8 beeinflußbar. Bei $t = 21$ s soll die elektrische Hilfsenergie ausfallen. Dadurch wird x_8, wiederum um 2 s verzögert, nicht steuerbar. Da außerdem kein Rückführsignal und keine Hilfsenergie für die Regler vorliegt, sind auch x_{19} und x_{20} nicht steuerbar. Bei $t = 25$ s kehrt die Hilfsenergie wieder, das System nimmt den Anfangszustand ($t = 0$) ein. Bei $t = 28$ s wird LG2 in „Automatik“ gestellt. Nach 2 s Laufzeiteffekt werden x_9 und x_{10} steuerbar, und nachdem zum Zeitpunkt $t = 34$ s v_2 gesetzt wurde, ist das System erstmalig bei $t = 36$ s strukturell steuerbar. Die Schaltung von v_3 ändert hieran nichts, wenn sie auch eine andere Matrizenbelegung hervorruft. Der Hilfsenergieausfall bei $t = 43$ s bewirkt auch hier die Nichtbeeinflußbarkeit von x_8, x_{19} und x_{20}, hat jedoch auf die Steuerbarkeit von x_9 und x_{10} keinen Einfluß. Nach Wiederkehr der Hilfsenergie bleibt lediglich x_8 nicht steuerbar, jedoch wird durch die Schaltung von v_2 das gesamte System steuerbar. Auch die Schaltung von v_7 bei $t = 57$ s ändert zwar die Matrizenbelegung nicht aber die Struktureigenschaften. Durch Hilfsenergieausfall bei $t = 62$ s werden wiederum x_{19} und x_{20} nicht beeinflußbar sowie verzögert auch x_8. Nach Wiederkehren der Hilfsenergie wird x_8 erst dann steuerbar, wenn über v_2 das LG1 in „Automatik“ gesetzt wurde.

Zusammenfassung

Für komplexe und automatisierte Systeme, die gekennzeichnet sind durch nichtlineare Regelstrecken, eine Vielzahl von kombinatorischen und speichernden Logikbaugliedern mit Laufzeiteffekten in der Automatisierungseinrichtung sowie durch die Verknüpfung von analoger und binärer Signalverarbeitung, wird ein Strukturmodell in Form eines Booleschen Matrizenpaares $[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}]_t$ aufgestellt. Die Matrizenelemente ergeben sich zum Zeitpunkt t als logische Funktionen der Anfangsspeicherzustände und der bis zu diesem Zeitpunkt gesetzten Eingangssignale (einschließlich Hilfsenergiesignalen). Die Strukturmatrizen werden mit Hilfe von Rechenprogrammen aufgestellt und auf bestimmte Eigenschaften getestet, die die strukturelle Steuerbarkeit des komplexen automatisierten Systems bestimmen. Als Anwendung wurde der automatisierte Teilprozeß „Speisewasser-Verdampfer-System“ eines 500-MW-Kraftwerksblockes bezüglich seiner strukturellen Steuerbarkeit von der Warte aus untersucht.

Literatur

[1] *Reinschke, K.; Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.:* Anwendung der strukturellen Steuerbarkeit zur Beurteilung von Automatisierungskonzepten. msr, Berlin 24 (1981) 10, S. 542–547.

[2] *Reinschke, K.:* Struktureller Zugang zum Reglerentwurf durch Polvorgabe. msr, Berlin 26 (1983) 6, S. 313–318.

msr 7885

P. Besch; M. Schlecht[1])

Führungshilfen für den Betrieb von Dampferzeugern bei instationären Betriebszuständen

0. Einleitung

Mit der Leistungssteigerung der Energieerzeugungsanlagen haben sich die Anlagendimensionen bei gleichzeitiger Erhöhung der Betriebsparameter vergrößert, wodurch an Auslegung und Betriebsführung hohe Ansprüche gestellt werden. Das Betriebsregime moderner konventioneller Kraftwerksanlagen ist durch einen beträchtlichen Anteil instationärer Vorgänge gekennzeichnet, deren sichere Beherrschung die Voraussetzung für den Schutz vor lebensdauerverkürzenden Belastungen der Anlagenkomponenten und damit für die Gewährleistung der geplanten Verfügbarkeit und der Betriebssicherheit darstellt. Auch Fragen der Wirtschaftlichkeit der Energieerzeugung sind eng damit verbunden.

Analysen des Betriebsgeschehens belegen, daß durch ungenügende Berücksichtigung der praktischen Betriebsbedingungen bei der Auslegung und durch Überschreitung der Grenzparameter infolge unzureichender Informationsverarbeitung und -darbietung sowie mangelhafter Kenntnisse über die während des An- und Abfahrens, bei Laständerungen usw. ablaufenden Vorgänge, Anlagenschäden, Lebensdauerverkürzungen und damit Einschränkungen der Betriebssicherheit auftreten können [1]. Daraus leiten sich neue Forderungen an die automatisierungstechnische Ausrüstung von Kraftwerksanlagen ab, die herkömmlich auf die Betriebsführung bei vorwiegend stationären Zuständen zugeschnitten ist. Dabei ist zu berücksichtigen, daß auch bei einem höheren Automatisierungsgrad der Anlagen wesentliche Aufgaben, wie Entscheidungsfindung und die Auslösung notwendiger Stelleingriffe, weiterhin dem Bedienpersonal vorbehalten bleiben. Dieses wird nur dann in die Lage versetzt, im richtigen Moment die richtige Handlung auszuführen, wenn es gelingt, die zur Überwachung eines modernen Blockes erforderlichen 600 bis 3000 analogen und etwa 2000 bis 10000 binären Meßsignale [2] nach der Verarbeitung geeignet zu verdichten und zu bewerten. Dafür hat sich die Darstellung von Kurvenverläufen und Balkendiagrammen auf einem Farbdisplay bewährt [3].

Im Rahmen der Einbeziehung des Komplexes der Lebensdauerüberwachung/Lebensdauersicherung (LDÜ/LDS) in verschiedene Leittechnik-Konzepte für Kraftwerksanlagen sind Beispiele für die Realisierung von Freilastberechnungen für Dampferzeu-

[1]) Doz. Dr.-Ing. *Peter Besch* siehe S. 8 dieses Heftes.
Dipl.-Ing. *Michael Schlecht* (28) studierte von 1974 bis 1978 thermischen und hydraulischen Maschinenbau an der Sektion Energieumwandlung der TU Dresden. Von 1978 bis 1981 Projektierungsingenieur im VEB Kombinat Kraftwerksanlagenbau, seit 1981 wissenschaftlicher Assistent an der Sektion Energieumwandlung der TU Dresden.

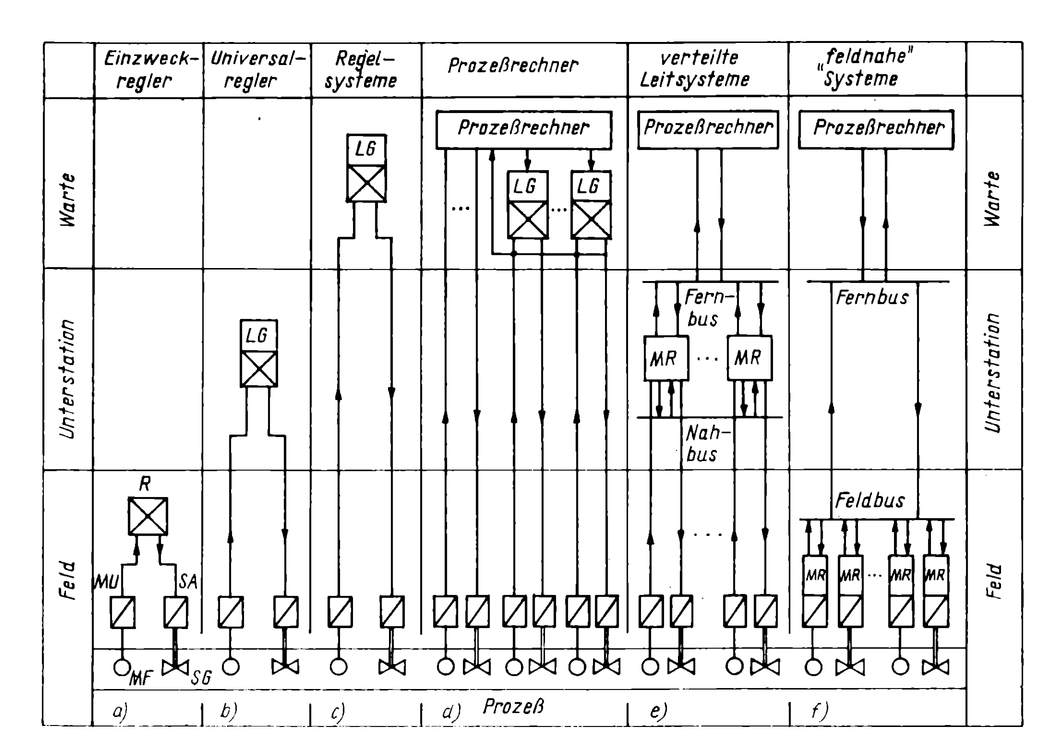


Bild 1. Entwicklung der Automatisierungseinrichtungen aufgrund ihrer räumlichen Anordnung

sehen werden (Bild 1a). Sie wurden ungefähr ab 1938 durch Universalregler und später infolge der Normung der Signalbereiche durch Einheitsregler abgelöst (Bild 1b und 1c). Strukturell brachte dies eine Trennung der Funktionen Bedienen und Regeln vom Prozeß. Regler und Leitgeräte waren vor Umwelteinflüssen geschützt in Unterstationen, früher Meßhäuser genannt, untergebracht. Nachteilig wirkten sich die nun notwendigen Signalübertragungsleitungen aus. Die Einführung der Einheitsregler ab 1955 war von einer Zentralisierung der Regler und Leitgeräte in einer Warte begleitet. Diese im Baukastenprinzip konzipierten Regelsysteme brachten den Vorteil der Bedienung und Beobachtung der Prozesse von einem Ort aus sowie die Möglichkeit der Kombination unterschiedlichster Geräte.
1959 begannen Überlegungen mit dem Ziel, den digitalen Großrechner (Prozeßrechner) für Aufgaben der Prozeßautomatisierung einzusetzen. Die räumliche Struktur (Bild 1d) blieb gegenüber den „konventionellen" Regelsystemen unverändert. Einer breiten Einführung der Großrechner standen jedoch die hohen Investitionskosten, die aufwendige Programmierung und die schwierige Inbetriebnahme entgegen. Probleme ergaben sich auch bei Rechnerausfall, weshalb, wie im Bild 1d angedeutet, zusätzlich die konventionelle Instrumentierung beibehalten wurde (Back-up). In diese Zeit fiel die Markteinführung der Mikrorechner, die einen kostengünstigeren Einsatz von Rechnern für Automatisierungsaufgaben ermöglichten.
Ab 1975 sind verteilte Prozeßleitsysteme mit Mikrorechnern auf dem Markt. Der Großrechner wird durch mehrere solcher Mikrorechner, die „prozeßnäher" in Unterstationen und Bedieneinheiten (Bild 1e) angeordnet sind, teilweise von den Aufgaben Meßdatenerfassung und -verarbeitung, Steuern und Regeln entlastet. Der in der Meßwarte installierte „große" Prozeßrechner übernimmt hauptsächlich Bedienfunktionen und höherwertige Aufgaben, wie übergeordnete Prozeßführung, und ist über ein Bussystem (Fernbus) mit den Mikrorechnern verbunden. Diese können untereinander über einen sogenannten Nahbus kommunizieren. Vorteile dieser Systeme sind infolge der übersichtlichen Strukturierung einfachere Projektierung und Inbetriebnahme sowie höhere Verfügbarkeit. Die Programmierung reduziert sich auf Funktionswahl und Parametereingabe. Die Weiterentwicklung der verteilten Prozeßleitsysteme kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt — es befinden sich erst relativ wenige im Einsatz — nur sehr schwer abgeschätzt werden.
Ein möglicher Innovationsschritt könnte in der Entwicklung sogenannter „feldnaher" Systeme [2] bestehen (Bild 1f). Durch die Implementierung von extrem miniaturisierten Mikrorechnern (Einchiprechnern) in Meß- und Stellglieder, werden diese zu intelligenten Geräten, die dann die Meßwertverarbeitung und Steuerungs- und Regelungsaufgaben übernehmen könnten. Über einen Feldbus könnte dadurch der kürzeste Signalfluß zwischen Meß- und Stelleinrichtung erreicht werden. Der hier wieder über einen Fernbus angekoppelte eigentliche Prozeßrechner erfüllt übergeordnete Funktionen der Prozeßkoordinierung. Vergleicht man abschließend die Bilder 1a und 1f, bringen die Mikrorechner aus topologischer Sicht eine Rückkehr zu Strukturen von Regeleinrichtungen um die und vor der Jahrhundertwende.
An der Technischen Universität Wien wurde bereits relativ früh der Problemkreis Mikrorechner zur Automatisierung, insbesondere maschinenbaulicher Prozesse, behandelt. Anhand von 3 ausgewählten Beispielen sollen daher auftretende Probleme und Lösungsmöglichkeiten diskutiert werden. Es handelt sich dabei um

- digitale Drehzahlregelung von Wasserturbinen als Beispiel für eine einfache lineare Eingrößenregelung
- Klimaregelung als Beispiel für eine nichtlineare Mehrgrößenregelung
- Steuerung von Handhabungsgeräten.

Bei allen drei Beispielen können die Grundlagen und der theoretische Hintergrund nur kurz gestreift werden, weshalb auf die zitierten Veröffentlichungen verwiesen sei.

2. Digitale Drehzahlregelung von Wasserturbinen [3] bis [5]

Derzeit finden zur Drehzahlregelung von Wasserturbinen fast durchweg elektrohydraulische Turbinenregler, denen meistens ein Prozeßrechner überlagert ist, Verwendung. Letzterer dient zur Berechnung der Reglersollwerte sowie für andere Aufgaben (z. B. übergeordnete Spannungs- und Blindleistungsregelung, Staupegelregelung, optimale Speicherbewirtschaftung, Optimierung des Maschineneinsatzes usw.). Mikrorechner werden in näherer Zukunft in diesem Teilbereich des Maschinenbaues den analogen Drehzahlregler ersetzen und darüber hinaus noch einige Teilaufgaben des Prozeßrechners übernehmen. Dies führt neben einer durchgehend digitalen Instrumentierung zu einer Dezentralisierung im Sinne des Bildes 1e.
Wir bereits einleitend festgestellt, ergibt sich sofort das Problem der Wahl eines geeigneten Regelalgorithmus. Da keinerlei Anhaltspunkte vorliegen, wurden in diesem Fall verschiedene digitale Algorithmen, die eine z-Übertragungsfunktion der Form

$$R(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + \dots + q_\nu z^{-\nu}}{p_0 + p_1 z^{-1} + \dots + p_\mu z^{-\mu}} \tag{1}$$

aufweisen, an dem simulierten Modell einer Francis-Turbine untersucht. Es genügte, ein stark vereinfachtes Modell entsprechend einer Francis-Turbine mit kurzer und starrer Rohrleitung zu untersuchen, dessen Übertragungsfunktion von der Form

$$F(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{K - Ts}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)(1 + T_3 s)} \tag{2}$$

ist. $X(s)$ ist die Laplace-Transformierte der Drehzahl (Regelgröße) und $Y(s)$ die Laplace-Transformierte der Position des Leitradservomotors (Stellgröße). Die Konstruktionsparameter der Anlage sind in den Zeitkonstanten und der Verstärkung enthalten.

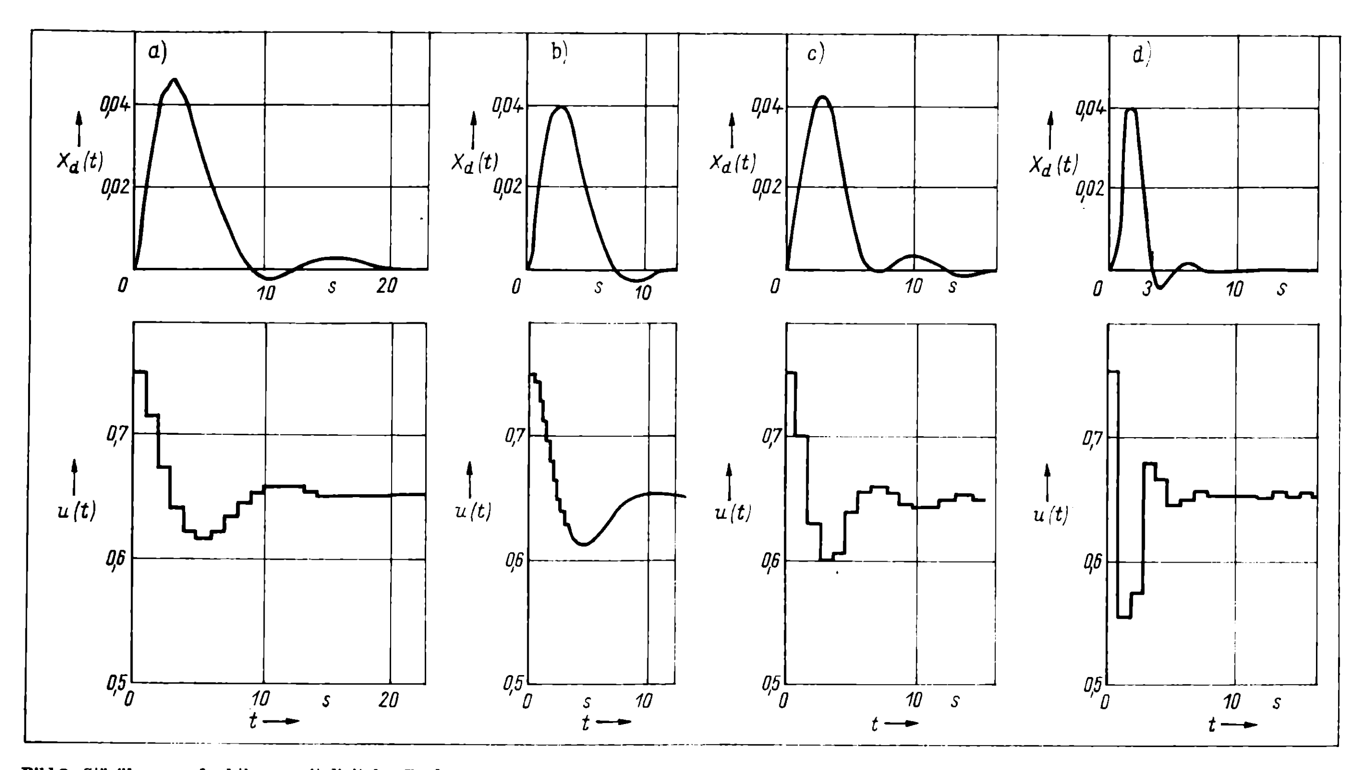


Bild 2. Störübergangsfunktionen mit digitalen Reglern

a) digitaler PI-Regler; b) digitaler PID-Regler; c) strukturvariabler PID-Regler; d) Regler höherer Ordnung

Regelalgorithmen unterschiedlicher Komplexität ergeben sich durch Wahl von ν und μ — der Ordnungen von Zähler und Nennerpolynom. Aus den in [4] ausführlich beschriebenen Untersuchungen sollen hier nur einige ausgewählte Ergebnisse angegeben werden. In den Bildern 2 ist sowohl die normierte Regeldifferenz als auch die Stellgröße über der Zeit für eine sprungförmige Entlastung der Turbine von 75% auf 65% dargestellt. Bild 2a zeigt das Regelergebnis für einen digitalen PI-Regler ($\mu = 2$, $\nu = 1$) und Bild 2b für einen digitalen PID-Regler ($\mu = 3$, $\nu = 1$). Einige neue Möglichkeiten des Mikrorechners wurden bei der Implementierung des im Bild 2c verwendeten strukturvariablen PID-Reglers genutzt. Die besten Regelergebnisse werden jedoch mit einem Regelalgorithmus höherer Ordnung ($\mu = 7$, $\nu = 7$), Bild 2d, erreicht. Allerdings müssen zur Optimierung dieses „Reglers" 14 Konstanten (Reglerparameter) bestimmt werden, was beim Fehlen jeglicher Erfahrungswerte sehr schwierig und zeitaufwendig ist. Der vernünftigste Kompromiß zwischen Regelgüte und Aufwand dürfte wohl ein Regler 4. oder 5. Ordnung sein, der mit entsprechend kleiner Abtastzeit arbeitet.

3. Mikrorechner zur Sollwertvorgabe bei der Regelung einer Klimaanlage [6] und [7]

Im Zusammenhang mit dem Einsatz von Gebäudeleitsystemen gewinnen Mikrorechner auf diesem Gebiet immer mehr an Bedeutung. Sie dienen derzeit zur Realisierung von Schaltprogrammen (z. B. Tages-, Wochen- und Monatsprogramm, Energieoptimierung usw.) aber nur in ganz wenigen Fällen zur eigentlichen Regelung. An einer nach dem Taupunktprinzip arbeitenden, konventionell geregelten Modellklimaanlage (Bild 3) wurde versucht, durch Verwendung eines überlagerten Mikrorechners die Regelung zu verbessern.

Die aus der Klimakammer (klimatisierter Raum) kommende Luft wird in einem bestimmten Verhältnis — einstellbar durch die Jalousiedrosselklappen — mit Frischluft gemischt. Dieses Gemisch aus Frisch- und Umluft (Temperatur T_1, relative Feuchte φ_1) wird im ersten Heizregister erwärmt, bis zum entsprechenden Taupunkt ($T_{\varphi s}$, $\varphi = 100\%$) befeuchtet und anschließend im zweiten Heizregister auf den gewünschten Raumzustand (T_R, φ_R) erwärmt.

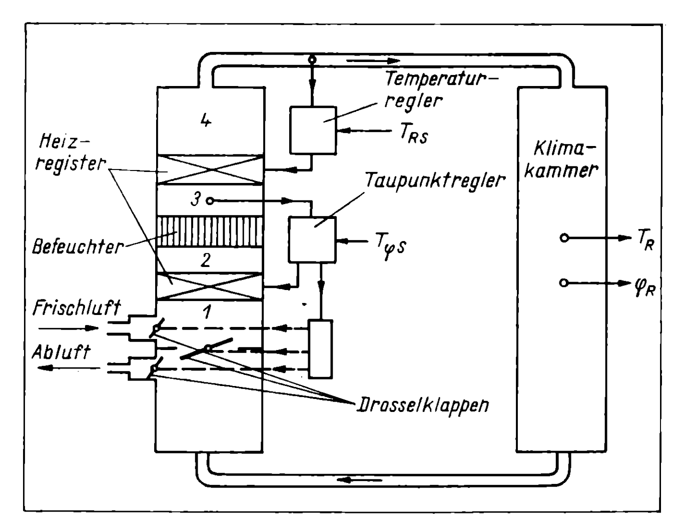
Zu regeln sind die Taupunkttemperatur T_φ durch den Taupunktregler mit der Heizleistung des Registers 1 als Stellgröße, die Temperatur der eintretenden Luft T_R mit dem Temperaturregler und das Verhältnis Frischluft/Umluft ebenfalls mit dem Taupunktregler. Die Raumfeuchte φ_R wird nicht durch einen eigenen Feuchteregelkreis, sondern über die zugehörige Taupunkttemperatur $T_{\varphi S}$ geregelt. Da dies einen nicht unerheblichen Energieverlust darstellt, findet das Taupunktprinzip nur bei kleineren Anlagen Verwendung. Die beiden Regler haben P- und PI-Verhalten. An ihnen sind die Sollwerte T_{RS} und $T_{\varphi S}$ einzustellen.

Das Regelergebnis dieser konventionell geregelten Anlage ist, wie Bild 4 anhand der Übergangsfunktionen für eine Temperatursollwertänderung von $T_{TS} = 25$ °C auf $T_{TS} = 35$ °C bei konstanter relativer Feuchte $\varphi_R = 48\%$ zeigt, unbefriedigend. Um das Regelergebnis solcher handelsüblicher Klimaanlagen zu verbessern, lag daher der Gedanke nahe, einen Mikrorechnerregler zur Vorgabe modifizierter Sollwerte T_{TS} und $T_{\varphi S}$ einzusetzen, um so den gewünschten Raumluftzustand T_R und φ_R zu erreichen. Dazu ist, wie bereits ausgeführt, ein möglichst genaues Modell der Strecke notwendig. Diese ist ein einseitig gekoppeltes, P-kanonisches Zweigrößensystem, wobei statische und dynamische Nichtlinearitäten zu zusätzlichen Schwierigkeiten führen.

Nach in [6] und [7] ausführlich beschriebenen Überlegungen ergaben sich eine Modellstruktur und ein übergeordneter Regler, wie im Blockschaltbild (Bild 5) dargestellt. Daraus ergibt sich die Übertragungsfunktion des offenen Kreises:

$$\begin{bmatrix} T_R \\ \varphi_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{TT}F_{RT} & 0 \\ F_{RT}[-F_{T\varphi}F_{RT} + F_{\varphi\varphi}F_{RT\varphi}f(\cdot)] & F_{\varphi\varphi}F_{R\varphi}f(\cdot) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Bild 3. Modellklimaanlage



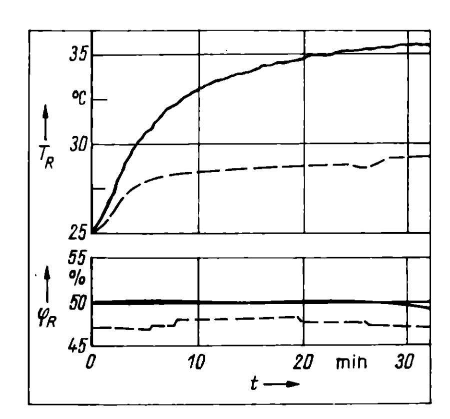


Bild 4. Übergangsfunktionen der konventionell und mikrorechnergeregelten Klimaanlage

– – – konventionell geregelt; ——— mit überlagertem Mikrorechner

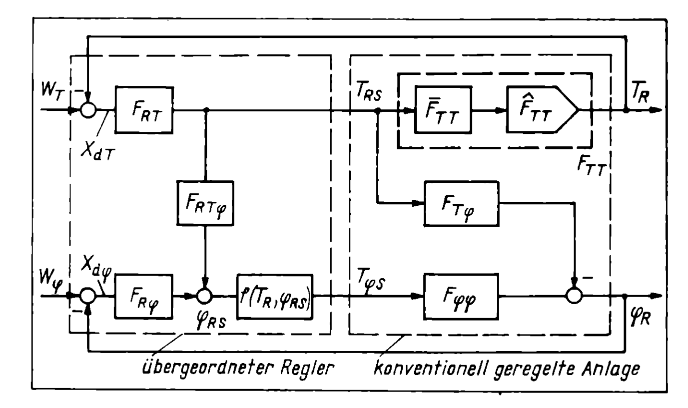


Bild 5. Blockschaltbild der konventionell geregelten Klimaanlage und des Mikrorechnerreglers ▶

mit dem empirisch bestimmten nichtlinearen Zusammenhang

$$f(\cdot) = f(T_R, \varphi_{RS}) : T_{\varphi S} = T_R + 0{,}243\varphi_{RS} - 23{,}3 \qquad (4)$$

und den linearen Übertragungsfunktionen F.
Für die Teilübertragungsfunktionen $F_{RT\varphi}$ und $F_{R\varphi}$ wurden die eines P-Reglers als vernünftiger Kompromiß gewählt, was allerdings nur einer statischen Entkopplung entspricht. Für den eigentlichen Temperaturregler konnte Dank des Mikrorechners ein strukturvariabler P-PI-Regler, ähnlich dem bei der Wasserturbine verwendeten, mit der Übertragungsfunktion

$$F_{RT} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_n s}\right), \qquad (5)$$

wobei für

$$|x_{dT}| > 3\ °C : K_p = K_p^0 + \hat{K}_p(T_R) + K_p^*(x_{dT})$$
$$T_n = 0$$

und

$$|x_{dT}| \leqq 3\ °C : K_p = K_p^0 + \hat{K}_p(T_R)$$
$$T_n = T_n^0 + \hat{T}_n(T_R)$$

realisiert werden. Dieser arbeitet für Regeldifferenzen x_{dT} größer als 3 °C als reiner P-Regler mit einer sowohl vom Arbeitspunkt $(\hat{K}_p(T_R))$ als auch von der Temperaturdifferenz $(K_p^*(x_{dT}))$ abhängigen Verstärkung. Nähert sich der Temperaturistwert dem Sollwert ($|x_{dT}| \leqq 3$ °C), wird zur arbeitspunktabhängigen Verstärkung eine ebensolche Nachstellzeit aufgeschaltet (nichtlinearer PI-Regler).
Die durch einen solchen Regler erzielbaren Verbesserungen sind als Übergangsfunktionen ebenfalls im Bild 4 als gestrichelte Linien eingetragen. Zum Unterschied von früher wird der neue Temperatursollwert sehr rasch bei konstanter relativer Feuchte erreicht.
Die Probleme liegen hier auch wieder in der Wahl der Reglerstruktur und vor allem in der Bestimmung der Funktionen $\hat{K}_p(T_R)$, $K_p^*(x_{dT})$ und $\hat{T}_n(T_R)$. Es wurde beispielsweise $K_p^*(x_{dT})$ als mit kleiner werdender Temperaturdifferenz linear abnehmende Funktion festgelegt.

4. Mikrorechner zur Steuerung von Handhabungsgeräten und Montagemaschinen [8] bis [10]

Arbeitsplätze, an denen Montageoperationen ausgeführt werden, zählen heute zu den kostenintensivsten in der industriellen Fertigung. Deshalb wird in den letzten Jahren verstärkt versucht, solche Arbeitsplätze unter Zuhilfenahme von Handhabungsgeräten zu automatisieren. Industrieroboter scheiden in vielen praktischen Fällen infolge ihrer hohen Anschaffungskosten und der ungenügenden Positioniergenauigkeit aus. Bis zur Entwicklung geeigneter Industrieroboter finden daher Montagemaschinen Verwendung.
Bei den meisten zu automatisierenden Montagearbeitsplätzen handelt es sich um solche, wo relativ einfache Operationen an Klein- und Mittelserien auszuführen sind. Dies bedingt eine Maschinenkonzeption in Form eines Baukastens, um eine rasche Umrüstbarkeit zu gewährleisten. Gegenüber herkömmlichen Hardwaresteuerungen mit elektrischer und pneumatischer Hilfsenergie bieten mit Mikrorechnern bestückte Softwaresteuerungen einige wesentliche Vorteile. Durch kostengünstige Kapazitätserweiterungen können Steuerungshierarchien für Montagemaschinen, die ebenfalls sehr einfach an Rechnersteuerungen ganzer Fertigungsstraßen angeschlossen werden können, aufgebaut werden. Bei Umrüstung der Montagemaschine auf andere Teile kann die Mikrorechnersteuerung durch einfaches Umprogrammieren, beispielsweise durch PROM-Wechsel, rasch den neuen Gegebenheiten angepaßt werden.
Da es sich im wesentlichen um die Realisierung einfacher Ablaufsteuerungen handelt, treten, zum Unterschied von den vorerwähnten Beispielen, von theoretischer Seite keinerlei Probleme auf. Die Schwierigkeiten lagen hier mehr auf dem personellen Sektor. Der Bedienungsmann der Maschinen — meist ein Mechaniker — mußte sich grundlegende Kenntnisse auf den Gebieten Rechentechnik und Elektronik aneignen, um im Störungsfall rasch und gezielt eingreifen zu können.

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, daß aus topologischer Sicht der Einsatz von Mikrorechnern, insbesondere bei der Automatisierung maschinenbaulicher und verfahrenstechnischer Prozesse, eine Rückkehr zu den dezentralen Konzepten der Jahrhundertwende mit sich bringt. Die sich durch diese neue Technologie bietenden Möglichkeiten werden bei den heute handelsüblichen Geräten nur sehr unvollständig genutzt. Im Wechselspiel zwischen Theorie und Gerätetechnik hat letztere durch die Einführung der Mikrorechner einen großen Schritt vorwärts getan. Die von theoretischer Seite zur Verfügung stehenden Methoden müssen für die Praxis aufbereitet werden, um zu technisch und kommerziell tragbaren Lösungen zu gelangen. Ein gangbarer Weg scheint in einer Kombination von Theorie und Heuristik zu liegen, was an 3 Beispielen demonstriert wurde. Von theoretischer Seite liegen die Hauptprobleme in der Wahl eines geeigneten Regelalgorithmus — der Mikrorechner gestattet die Programmierung von an und für sich beliebigen Reglerfunktionen — und in weiterer Folge die Festlegung der darin auftretenden Konstanten der Reglerparameter. Von praktischer Seite kommen unter anderem soziale Aspekte zum Tragen.
Die weitere Entwicklung wird vermutlich von den Fortschritten am Bauteilesektor, insbesondere bei den als „Geräterechner" einsetzbaren Einchipmikrorechnern, bei integrierten A/D- und D/A-Umsetzern sowie bei Halbleitersensorsystemen und Lichtleiterübertragungssystemen bestimmt werden.

Literatur

[1] *Kopacek, P.:* Automatisierungstechnik im Wandel durch Mikrorechner. Der Schlüssel, ÖPWZ Wien (1982) 2, S. 7–9.
[2] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Wandlungsprozesse bei Automatisierungssystemen mit Mikroprozeßrechnern. msr, Berlin 21 (1978) 6, S. 302–307.
[3] *Kopacek, P.; Fasol, K. H.:* Untersuchung von digitalen Regelalgorithmen für die Drehzahlregelung von Wasserturbinen. Preprints des 2. Int. Seminars „Wasserkraftanlagen", TU-Wien 1982, S. 38–49.
[4] *Kopacek, P.; Zauner, E.:* Governing turbines by microcomputers. Water Power & Dam Construction (1982) Sept. pp. 26–30.
[5] *Kopacek, P.:* Digital speed governing of Water turbines. Preprints of the IASTED Symposium „ACI 83", Kopenhagen 1983, II. pp. 25–6 to 25–10.
[6] *Pillmann, W.; Kopacek, P.:* Identification and control of an air conditioning pilot plant with the aid of a micro-computer controller. Preprints of the IFAC-Symposium „Digital Computer Application to Process Control", Den Haag 1977, Part 1, pp. 343–349.
[7] *Kopacek, P.; Pillmann, W.:* A nonlinear cascade controller for air conditioning plants. Preprints of the 7th IFAC Congress, Helsinki 1978, Vol. I. pp. 335–342.
[8] *Kopacek, P.:* Eine Mikroprozessorsteuerung für programmierbare Handhabungsgeräte. Tagungsband des 13. Fachkolloquiums „Informationstechnik", TU-Dresden 1980, Bd. II., S. 55–57.
[9] *Kopacek, P.:* Microcomputer Control of Manipulators and Assembling Machines. Preprints of th 8th IFAC Congress, Kyoto 1981, Vol. XIV-49 to XIV-53.
[10] *Kopacek, P.:* Mikrorechner zur Montageautomatisierung. Tagungsband des 27. IWK, Ilmenau 1982, Heft 2, S. 99–102.

msr 7956

F. Berger; I. Troch; E. Wittek[1])

Energieoptimale Tunneltrassen für ein U-Bahn-Netz

0. Einleitung

Eine U-Bahn-Trasse soll so festgelegt werden, daß bei zeitoptimaler Fahrweise der Züge (Schnellverkehrsmittel) insgesamt wenig Energie verbraucht wird. Zusätzlich wird die Annahme getroffen, daß der Zug für beide Richtungen dieselbe Trasse durchfährt, da dadurch die Baukosten viel geringer sind. Die Lage der Stationen kann man als fest vorgegeben annehmen, da die örtlichen Gegebenheiten (Ballungszentren usw.) berücksichtigt werden müssen. Weiterhin wird durch die Lage der Stationen, aus geologischen Gründen u. a. m., der Grundriß der Trasse bestimmt. Da der Zug in jeder Station halten muß, kann das Problem der energieoptimalen Trassierung des U-Bahn-Netzes auf das Problem der energieoptimalen Trasse zwischen zwei Stationen zurückgeführt werden. Die Trasse soll dabei durch einen Polygonzug mit N Abschnitten approximiert werden. Dies führt auf eine Optimierungsaufgabe, bei der als Parameter die Lage der Stützpunkte zwischen den Stationen und die relative Höhe zur ersten Station frei wählbar sind. Für die Optimierung sollen verschiedene Verfahren herangezogen und verglichen werden. Ebenso sollen Untersuchungen über die notwendige Anzahl der Stützpunkte durchgeführt werden.

1. Modell

Das geschilderte Problem wurde in [6] behandelt. Das dort verwendete mathematische Modell wurde teilweise übernommen, die Daten stammen jedoch von der Wiener U-Bahn [9].
Ausgegangen wird von zwei festen Stationen, die einen bekannten Abstand TL voneinander entfernt sind und eine gewisse Höhendifferenz H aufweisen. Der Abstand TL ist die Länge der Trasse im Grundriß (Bild 1). Die Station kann nicht als Punkt betrachtet werden, da das Verhältnis von Stationslänge LS (für diese wird die maximale Zuglänge LT angenommen) und Länge der Trasse zwischen den Stationen zu groß ist. Die Trassenlänge wird vom Mittelpunkt der Station A bis zum Mittelpunkt der Station B gemessen. Daher ist es möglich, die Trassen einer U-Bahn-Strecke aneinanderzureihen und so den gesamten Energieverbrauch und die reine Fahrzeit zu berechnen (Hin- und Rückfahrt).
Der Einfachheit halber wird nicht die Zeit t, sondern der momentane Abstand x des Zuges von der Station als unabhängige Variable gewählt, da für x die Integrationsgrenzen, nämlich (A, B), bekannt sind, für t hingegen die obere Integrationsgrenze unbekannt ist.
Die Modellgleichungen lauten [6]:

$$\frac{dv}{dx} = \frac{1}{v}[u^+ - u^- + g(x, v, \Theta)] \quad (1)$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{v} \quad (2)$$

$$\frac{dE}{dx} = \frac{1}{v}[\beta v u^+ - R], \quad (3)$$

$$g(x, v, \Theta) = -\mu \int_{x-\frac{LT}{2}}^{x+\frac{LT}{2}} \sin \Theta(s)\, ds - v \int_{x-\frac{LT}{2}}^{x+\frac{LT}{2}} \cos \Theta(s)\, ds - av^2,$$

wobei $v(x)$ die Geschwindigkeit des Zuges, $E(x)$ die vom Zug verbrauchte Energie, $t(x)$ die Fahrzeit des Zuges und $\Theta(x)$ der Neigungswinkel der Trasse ist. $u^+(x)$ gibt die Antriebskraft,

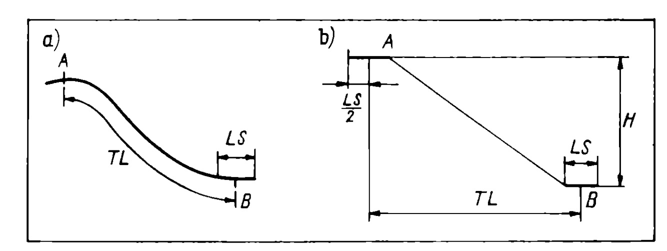


Bild 1. Trasse im Grundriß (a) und im Aufriß (b)

$u^-(x)$ die Bremskraft des Zuges und $R(x)$ die beim Bremsen zurückgewonnene Energie an. LT ist die Zuglänge, β, μ, v und a sind geeignete Konstante, über die in [6] keine näheren Aussagen getroffen wurden. Die Funktion $g(x, v, \Theta)$ berücksichtigt den Einfluß von Gravitation, Reibung und Luftwiderstand auf die Geschwindigkeit. Bei negativem Neigungswinkel (fallende Trasse) wirkt die Gravitation als Antriebskraft, bei positivem Neigungswinkel als Bremskraft. Der Neigungswinkel wird in Fahrtrichtung gemessen. Es ist zu beachten, daß die Gesamtenergie dadurch erhalten wird, daß die Trasse zweimal durchfahren wird (von A nach B und zurück), entsprechendes gilt für die Gesamtfahrzeit.
Zu diesen Beziehungen kommen Randbedingungen und — aus mechanischen Gründen und aus Gründen der Fahrtechnik und Sicherheit — Beschränkungen für v, u^+, u^-, Θ und dv/dx.
Der Energieverbrauch, der minimiert werden soll, hängt sehr stark von der Fahrweise des Zuges ab. Für diese wird Zeitoptimalität gefordert. Die gesamte Fahrzeit ist genau dann minimal, wenn zu jedem Zeitpunkt mit größtmöglicher Geschwindigkeit gefahren wird, also:

$$v = \frac{dx}{dt} \overset{!}{=} \text{Max} \Longleftrightarrow \frac{1}{v} = \frac{dt}{dx} \overset{!}{=} \text{Min}.$$

Da obige Funktion zu jedem Zeitpunkt gegen ein Minimum strebt, muß die Geschwindigkeit möglichst rasch den Maximalwert erreichen, der dann bis zu jenem Zeitpunkt gehalten wird, ab dem mit maximaler Bremskraft gebremst werden muß, so daß der Zug in der Station B (bzw. A) stehen bleibt. Daraus folgt für die Steuerungen u^+ und u^-, daß sie keine stetigen Funktionen sind, sondern nur die zwei Werte Null und u^+_{max} bzw. Null und u^-_{max} annehmen können, es sind also Bang-Bang-Steuerungen [1].
Die getroffenen Modellannahmen vernachlässigen Einflüsse, wie Kurven der Streckenführung in horizontaler Richtung und eine genaue Erfassung der Motorkennlinie. Grundsätzlich können in einer der speziellen Situation angepaßten Simulation derartige Daten auch erfaßt werden. Es ist jedoch fraglich, ob der hierzu notwendige Aufwand wirklich gerechtfertigt ist.

2. Verfahren

Für die Trassenoptimierung selbst wurde das Verfahren des adaptiven Suchschlauches sowie das Verfahren der zyklischen Parametervariation verwendet. Ersteres [7] kann als zeit- und speicherplatzsparende Variante der dynamischen Programmierung [3] aufgefaßt werden. Es wird in einem groben Anfangsgitter eine Starttrajektorie gewählt, um diese ein Suchschlauch gelegt und sämtliche Wege innerhalb dieses Suchschlauches betrachtet und verglichen. Um den bestmöglichen Weg wird ein neuer Suchschlauch gelegt und das Verfahren wiederholt, wobei gegebenenfalls die Schrittweite verfeinert werden kann. Das Verfahren der zyklischen Parametervariation darf als bekannt vorausgesetzt werden [2].
Bei beiden Methoden stellt sich die Frage der Abhängigkeit des Resultates von der Stützstellen-Anzahl n des die Trasse approximierenden Polygonzuges. Da diese die Anzahl der optimierenden Parameter und in Folge den Rechenzeitbedarf bestimmt, wird man trachten, n klein zu halten. Tests ergaben, daß i. allg. 10 Stützpunkte ausreichen (Tafel). Da 4 Punkte für die Stationen benötigt werden, reichen 6 zwischen den Stationen liegende Stützpunkte aus. Eine weitere Verfeinerung ist für das verwendete, relativ einfache mathematische Modell nicht mehr sinnvoll. Dieses Ergebnis bestätigt die in [6] angestellten heuristischen Überlegungen, bei denen Trassen mit etwa der gleichen Zahl von Knickpunkten betrachtet werden.

---

[1]) Dipl.-Ing. *Franz Berger* (29) studierte bis 1979 an der TU Wien Rechentechnik und Technische Mathematik. Seit 1980 Vertragsassistent am Institut für Elektrische Regelungstechnik der TU Wien.

Universitäts-Prof. Dr. techn. *Inge Troch* (42) studierte von 1959 bis 1966 an der TU Wien Versicherungsmathematik und Moderne Rechentechnik. 1966 Promotion zum Dr. techn. 1972 Habilitation für das Fachgebiet Regelungsmathematik und Hybridrechentechnik. Seit 1974 ordentlicher Universitätsprofessor für dieses Fach an der TU Wien. Seit 1983 Leiterin der Abteilung Regelungsmathematik, Hybridrechen- und Simulationstechnik am Institut für Analysis, Technische Mathematik und Versicherungsmathematik der TU Wien.

Dipl.-Ing. *Elisabeth Wittek* (27) studierte bis 1979 an der TU Wien Rechentechnik und Technische Mathematik. Anschließend Programmierer am Hybridrechenzentrum der TU Wien. Seit 1980 Vertragsassistent am Institut für Elektrische Regelungstechnik der TU Wien.

Tafel. Abhängigkeit des Ergebnisses von der Stützstellen-Anzahl *n*

n	6	8	10	12	16
Energie in kWh	16,68	16,66	16,58	16,58	16,58
Zeit in s	106,92	106,26	106,35	106,35	106,35

3. Vergleiche

3.1. Vergleich der Verfahren

Der Vergleich geht eindeutig zugunsten des Verfahrens der zyklischen Parametervariation aus. Es ist hier der Speicherplatzbedarf geringer, vor allem aber die Rechenzeit um Wesentliches kürzer als beim Verfahren des adaptiven Suchschlauches. Die heuristische Methode aus [6] erweist sich vor allem bei kleinen Stationsabständen (ungefähr bis 1000 m) als sehr gute Methode der Trassenoptimierung. Vor allem die Annahme, daß das Trassenstück nach der Station bzw. vor der Station den größtmöglichen Anstieg haben soll, gilt bei fast allen Trassen, außer bei denen, wo es der Höhenunterschied der Stationen nicht erlaubt.

3.2. Vergleich der Simulationsarten

Durch die Überlagerung zweier Optimierungsaufgaben sind große Rechenzeiten zu erwarten. Im Verlauf der Trassenoptimierung ist für jede in den Vergleich einzubeziehende Trasse die zeitoptimale Steuerung der Fahrt des Zuges zu berechnen. Diese Berechnung bestimmt wesentlich den Rechenzeitbedarf, und es ist zu überlegen, ob hierfür der Hybridrechner vorteilhaft zu verwenden ist.
Die Randwertaufgabe kann auf einem Hybridrechner iterativ gelöst werden, indem man den Zeitpunkt $\hat{t}$ des Beginns der „Vollbremsung" am Ende der Fahrt variiert. Im Durchschnitt waren hierfür 10—12 Iterationen notwendig.
Auf einem Digitalrechner ist diese Variation zu zeitaufwendig. Es wurde statt dessen $\hat{t}$ durch Rückwärtsintegration ermittelt. Testläufe [4] [5] und [10] ergaben, daß die digitale Integration bei gleichen Genauigkeitsanforderungen um einen Faktor 80—100 langsamer ist als die hybride Berechnung des Energieverbrauchs. Daher wurde für die weiteren Untersuchungen, also für die Berechnung der optimalen Trasse nach verschiedenen Verfahren, ausschließlich der Hybridrechner herangezogen (Hybridrechner Pacer 600 (Analogrechner EAI 680) am Hybridrechenzentrum der TU Wien, Cyber 74 am Digitalrechenzentrum der TU Wien).

4. Ergebnisse

Die Bilder 2a und 2b zeigen deutlich die Grundform der optimalen Trasse mit größtmöglichem Gefälle bei den Stationen, Dieses bewirkt eine optimale Ausnutzung der Gravitation als zusätzlicher Antriebskraft beim Wegfahren und als Bremskraft bei Annäherung an die Station. Die zweite Eigenschaft kann nun gegebenenfalls zur Zurückgewinnung von Energie verwendet werden. Sie bietet den Vorteil, daß beim Bremsvorgang weniger Wärme erzeugt wird (Entlüftungsproblem).
Es sei darauf hingewiesen, daß auch die Fahrzeiten für diese optimalen Trassen kürzer als diejenigen der Vergleichstrassen sind.

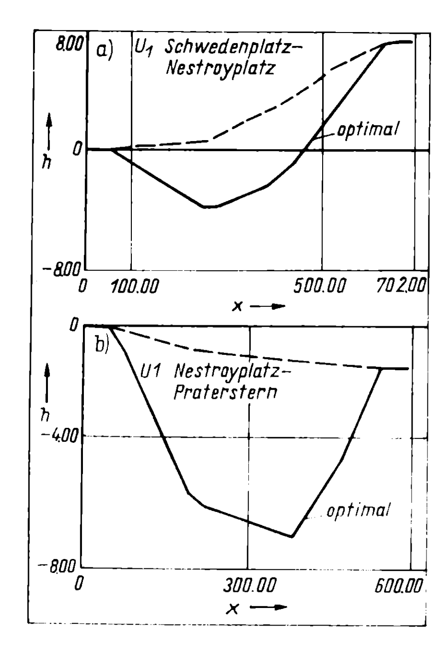


Bild 2. Projektierte (= ausgeführte) und optimale Trasse zwischen zwei Stationen der U1 in Wien
a) Energiegewinn 12,2% (23,8 statt 27,1 kWh), Zeitgewinn 1,6%
b) Energiegewinn 18,4% (20,8 statt 25,6 kWh), Zeitgewinn 4,5%

Literatur

[1] *Athans, M.; Falb, P. L.:* Optimal Control. New York: McGraw Hill 1966.
[2] *Bekey, G. A.; Karplus, W. J.:* Hybrid Computation. New York: J. Wiley & Sons 1968.
[3] *Bellman, R.:* Dynamic Programming. Princeton: Univ. Press 1957.
[4] *Berger, F.:* Energieoptimale Trassierung eines U-Bahn-Netzes. Diplomarbeit, TU Wien, Inst. f. Techn. Math., 1979.
[5] *Fibich, F.:* Digitalprogramm zur Berechnung der zeitoptimalen Steuerung eines U-Bahn-Zuges. Praktikumsarbeit, TU Wien 1979.
[6] *Hoang, H. H.; Polis, M. P.; Haurie, A.:* Reducing Energy Consumption through Trajectory Optimization for a Metro Network. IEEE Trans. AC-20 (1975) 5, Oct., pp. 590—595.
[7] *Schulze, H. K.:* Die Methode des adaptiven Suchschlauches zur Lösung von Variationsproblemen mit Dynamic-Programming-Verfahren. Elektronische Datenverarbeitung (1966) 3.
[8] *Solar, D.:* HYBSYS — interaktiver hybrider Prozessor, Version 3.2. Hybridrechenzentrum TU Wien 1979.
[9] U-Bahn-Bau in Wien: Festschrift, Stadtbaudir. Wien 1978.
[10] *Wittek, E.:* Energieoptimale Trassierung eines U-Bahn-Netzes. Diplomarbeit, TU Wien, Inst. f. Techn. Math., 1979.

msr 7955

G. Billerbeck; L. Klinsmann[1])

Erprobung eines modelladaptiven Mikrorechnerreglers am Modell eines Kernreaktors

0. Einleitung

Durch die preisgünstige Entwicklung der Mikrorechentechnik und ihren Einzug in die Automatisierungstechnik erfuhren im vergangenen Jahrzehnt Theorie und Anwendung adaptiver Regler einen erneuten Aufschwung. Gegenüber der Mikrorechner-Implementierung konventioneller Regelungsverfahren erfordern die adaptiven Algorithmen lediglich erhöhten Speicherplatzbedarf und eine umfangreiche Software-Entwicklung [1] und [3].
Dem Entwurf selbsteinstellender und modelladaptiver Regler liegen i. allg. lineare Prozeßmodelle mit unbekannten Parametern zugrunde. Bei allen parameteradaptiven Verfahren werden aber Regelungsstrukturen benutzt, die auch bei der Regelung von Prozessen mit bekannten Parametern Anwendung finden (z. B. gezielte Pol-Nullstellen-Verschiebung). Die verschiedenen adaptiven Methoden unterscheiden sich jedoch hauptsächlich in der Verfahrensweise zur Gewinnung der Information über die Prozeßparameter [2].

[1]) Dr.-Ing. *Gerhard Billerbeck* (38) studierte von 1965 bis 1970 Hochfrequenztechnik an der TU Dresden. Von 1970 bis 1972 Forschungsingenieur für Prozeßautomatisierung im Stahl- und Walzwerk Brandenburg, seit 1972 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, IT Dresden, der AdW der DDR. 1977 Promotion A (Regelungstechnik).

Dr.-Ing. *Lutz Klinsmann* (42) studierte von 1960 bis 1966 Regelungstechnik an der TU Dresden. Seit 1966 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, IT Dresden, der AdW der DDR. 1976 Promotion A (Regelungstechnik).

1. Problemstellung

Der Beitrag stellt einen modelladaptiven Mikrorechnerregler (MR-Regler) vor, dessen Entwurf unter der Annahme eines vorwiegend determinierten Signalverlaufes erfolgte. Daher ist er vorzugsweise zur Führung (parameter)unbekannter oder zeitveränderlicher Prozesse geeignet. Er soll an einem Nichtlinearitäten enthaltenden analogen Kernreaktormodell erprobt werden. Ziel der Untersuchungen ist es, Aussagen über die Leistungsfähigkeit des adaptiven MR-Reglers bei der Führung des nichtlinearen Prozesses zu gewinnen.

2. Modelladaptives Verfahren

Der Einsatz eines Mikrorechners zur Implementierung eines modelladaptiven Regelungssystems erfordert eine zeitdiskrete Behandlung (Bild 1). Das gewünschte Übertragungsverhalten des zu regelnden Prozesses wird durch ein meist lineares Bezugsmodell vorgegeben, an dessen Eingang das Führungs- bzw. Referenzsignal $r(t)$ liegt. Der adaptive Regler muß nun ein solches Prozeßsignal $u[k] = u_k$ erzeugen, daß ein Fehlersignal $\varepsilon[k] = \varepsilon_k$ zwischen Modellausgang $\bar{y}[k] = \bar{y}_k$ und diskretisiertem Prozeßausgang $y[k] = y_k$ für jedes $r[k] = r_k$ möglichst Null ist:

$$\varepsilon_k = \bar{y}_k - y_k . \quad (1)$$

Die Anpassung des Reglers an die unbekannten oder veränderlichen Übertragungseigenschaften des Prozesses erfolgt über einstellbare Reglerparameter, die abhängig vom Fehlersignal verändert werden. Durch die Parametersteuerung ist der adaptive Regler nichtlinear.
Der diskontinuierlich gesteuerte Prozeß soll durch eine diskrete Prozeßübertragungsfunktion $G_P(z)$ beschrieben werden:

$$G_P(z) = \frac{y(z)}{u(z)} = g_P \cdot \frac{B_P(z)}{z^m A_P(z)} . \quad (2)$$

Polynomgrad $\{A_P\} = n$; Polynomgrad $\{B_P\} = n - 1$;

$$0 < g_P \leqq g_{max}$$

Die diskrete Beschreibungsform gestattet in einfacher Form die Berücksichtigung von Prozeßtotzeiten als Vielfache der Tastperiode T. Die Prozeßordnung n, die Totzeit $m \cdot T$ und ein oberer Grenzwert g_{max} des Koeffizienten g_P werden als bekannt angenommen. Die Nullstellen des normalisierten Polynoms $B_P(z)$ liegen im Einheitskreis.
Die gewählte diskrete Übertragungsfunktion des Bezugsmodells $G_M(z)$ lautet:

$$G_M(z) = \frac{\bar{y}(z)}{r(z)} = g_M \cdot \frac{B_M(z)}{z^m A_M(z)} . \quad (3)$$

Für den vollständig steuerbaren und beobachtbaren Prozeß würde eine Parameterisierung der Übertragungsfunktion des Prozeßmodells $G_P(z)$

$$G_P(z) = g_P \frac{B_P(z)}{z^m A_P(z)} = g_P \frac{(FN - H)}{z^m(A_M N + K)} \quad (4)$$

über die Lösung der diophantischen Gleichung

$$(A_M N + K)\, B_P - (FN - H)\, A_P = 0 \quad (5)$$

im Fall bekannter Prozeßparameter die exakte und eindeutige Steuerung für das Modellfolgeproblem liefern [4]

$$u = \left(1 - \frac{H}{FN}\right)^{-1} g_P^{-1} \left(g_M \frac{B_M}{F} r + \frac{z^m K}{FN} \cdot y\right) . \quad (6)$$

$F(z)$ und $N(z)$ sind frei wählbare stabile Polynome vom Grad $n - 1$ und m. Die Polynome $K(z)$ und $H(z)$ enthalten zusammen gerade $2n + m - 1$ variable Koeffizienten, mit deren Wahl die Anpassung des Prozesses an das Modellverhalten zu gewährleisten ist.
Mit $F(z) = z^{n-1}$ und $N(z) = z^m$ ist für den Prozeß folgende Differenzengleichung anzusetzen:

$$y_k = \boldsymbol{a}_M^T \xi_{k-1} + g_P u_{k-m-1} - \boldsymbol{\alpha}^T \bar{\boldsymbol{x}}_{k-m-1} , \quad (7)$$

wobei $\bar{\boldsymbol{x}}_k^T = (y_k \dots y_{k-n+1} \,\vdots\, u_{k-1} \dots u_{k-n-m+1})$ ist und $\boldsymbol{\alpha}^T$ die variablen Koeffizienten der Polynome H und K enthält. Das Bezugsmodell ist im Zeitbereich durch diese Differenzengleichungen darstellbar:

$$\left.\begin{aligned} \bar{y}_k &= \boldsymbol{a}_M^T \bar{\xi}_{k-1} + g_M v_{k-m-1} , \\ v_k &= \boldsymbol{b}_M^T \boldsymbol{\psi}_k , \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

mit

$$\bar{\xi}_k^T = (\bar{y}_k \dots \bar{y}_{k-n+1}) \quad \text{und} \quad \boldsymbol{\psi}_k^T = (r_k \dots r_{k-n+1}) .$$

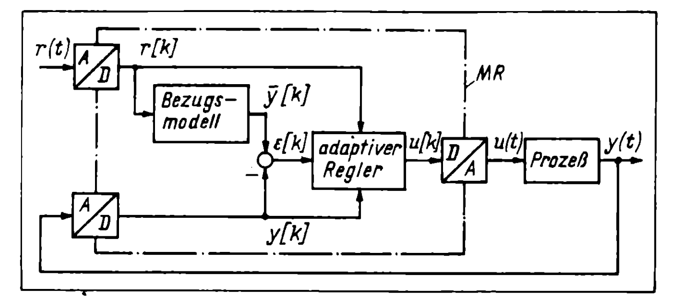


Bild 1. Schematischer Aufbau eines modelladaptiven Systems

Infolge der unbekannten Prozeßparameter ist die Steuerung (6) jedoch nicht realisierbar. Deshalb werden $2n + m$ steuerbare Parameter eingeführt. Mit diesen Parametern werden meßbare Signale aus Prozeß und Referenzmodell gewichtet, deren Linearkombination die Steuerung u_k liefert:

$$u_k = \boldsymbol{\gamma}_k^T \boldsymbol{x}_k . \quad (9)$$

Der Signalvektor $\boldsymbol{x}_k$ hat die Form

$$\boldsymbol{x}_k = \begin{pmatrix} v_k + c\bar{\varepsilon}_k \\ \bar{\boldsymbol{x}}_k \end{pmatrix} \quad (10)$$

und enthält neben den retardierten Prozeßeingangs- und -ausgangsgrößen das durch $B_M F^{-1}$ gefilterte und retardierte Referenzsignal $\boldsymbol{r}$ sowie eine proportionale Fehleraufschaltung.
Die Konvergenz des Fehlersignals ε_k entspricht der globalen asymptotischen Stabilität des nichtlinearen Gesamtsystems. Die Stabilitätsbedingungen, die sich aus der Anwendung der Theorie der Hyperstabilität von *Popow* ergeben, führen direkt zu der Berechnungsvorschrift für den Parametervektor $\boldsymbol{\gamma}_k$:

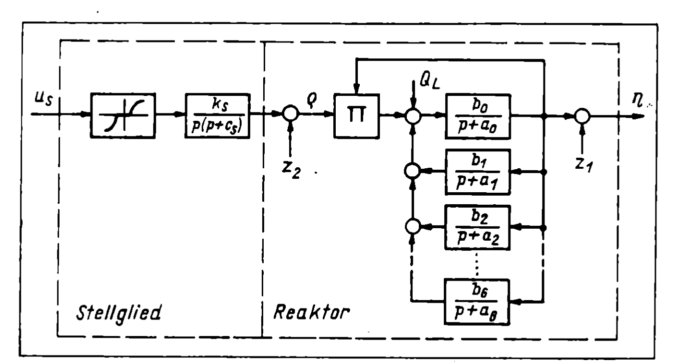
$$\boldsymbol{\gamma}_k = \boldsymbol{\gamma}_{k-1} + \boldsymbol{Q}\boldsymbol{x}_{k-m-1}\bar{\varepsilon}_k . \quad (11)$$

$\boldsymbol{Q}$ ist eine symmetrische, positiv definite Wichtungsmatrix, die die Adaptionsgeschwindigkeit festlegt.

3. Mikrorechner-Implementierung des modelladaptiven Reglers

Das angegebene Verfahren wurde auf dem 8-bit-Mikrorechner MPS 4944 implementiert. Die Wortlänge einschließlich Vorzeichen beträgt 11 bit bei der A/D-Umsetzung und 10 bit beim D/A-Umsetzer. Aus Gründen der Genauigkeit und der numerischen Stabilität des adaptiven Algorithmus ist eine Gleitkommaverarbeitung erforderlich. Zur Programmentwicklung wurde die Dialogsprache FORTH benutzt [5]. Im Ergebnis liegt ein allein lauffähiges optimales Assembler-Programm vor. Das eingesetzte Software-Gleitkommapaket mit 2 byte Mantisse und 1 byte Exponent belegt zusammen mit einer Matrizenarithmetik 2 Kbyte. Der modelladaptive Algorithmus selbst benötigt 1 Kbyte Speicherplatz. Für Modellparameter, Prozeßdaten und Hilfsgrößen ist ein RAM-Bereich von etwa 0,5 Kbyte vorgesehen.
Die Ordnung des adaptiven Reglers ist nicht von vornherein festgelegt. Sie ergibt sich aus der gewählten Referenzmodellordnung und wird in einem vorangestellten Initialisierungslauf bestimmt. Dieses 0,7 Kbyte belegende Initialisierungsprogramm reserviert den konkret benötigten RAM-Speicher. Im Hinblick auf Laboruntersuchungen existiert außerdem ein umfangreiches Programmpaket zur Bedienerkommunikation, das bei laufendem Reglerbetrieb Anzeige und Änderung von im RAM-Bereich abgelegten Größen erlaubt. Für die Kommunikation muß jedoch das FORTH-System (10 Kbyte) geladen sein.

Bild 2. Punktmodell des Kernreaktors mit Stelleinrichtung



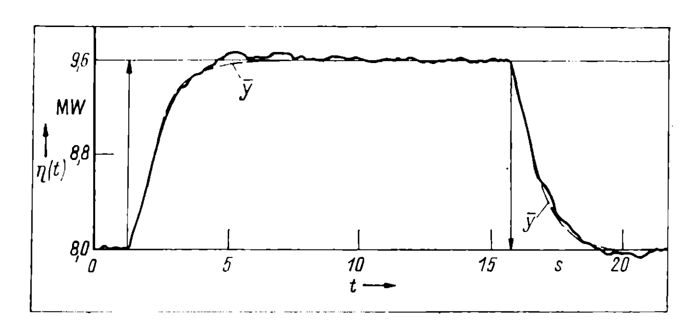


Bild 3. Regelgröße $\eta(t)$ bei sprungförmiger Änderung des Sollwertes ($\eta_0 = 8$ MW) um 20%

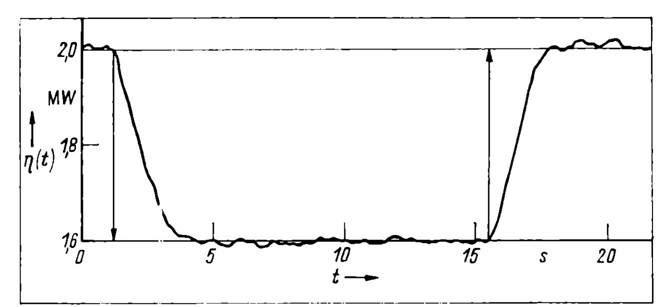


Bild 4. Regelgröße $\eta(t)$ bei sprungförmiger Änderung des Sollwertes ($\eta_0 = 2$ MW) um 20%

4. Beschreibung des analogen Reaktormodells

Die Neutronenflußdichte $\eta(t)$ ist ein Maß für die thermische Leistung P_{th} eines nuklearen Reaktors und damit Regelgröße einer entsprechenden Leistungsregelung. Sie wird durch die Reaktivität $\varrho(t)$ beeinflußt, die durch die Regelstäbe zu verändern ist:

$$\dot{\eta}(t) = \frac{\varrho(t) - \beta}{L}\,\eta(t) + \sum_{i=1}^{6} c_i(t) + \frac{Q_L}{L}\,, \tag{12}$$

$$\dot{c}_i(t) = -\lambda_i c_i(t) + \frac{\beta_i}{L}\,\eta(t)\,, \qquad i = 1 \dots 6\,.$$

Die kinetischen Modellgleichungen enthalten zwar den Einfluß von 6 Gruppen verzögerter Neutronen, sie berücksichtigen jedoch weder räumliche Komponenten noch leistungsabhängige Temperatureffekte des Reaktors. Deshalb wird das Modell als Punkt- bzw. Nulleistungsmodell bezeichnet [6]. Durch die Multiplikation von $\varrho(t)$ mit $\eta(t)$ liegt ein nichtlineares (bilineares) Modell vor (Bild 2). Die Bewegung der Regelstäbe wird durch einen Getriebemotor mit Thyristorsteuerung ausgeführt, der folgende Übertragungseigenschaften hat:

$$\varrho(p) = \frac{k_s}{p(p + c_s)}\,\bar{u}_s(p)\,, \tag{13}$$

$$\bar{u}_s(t) = f_s[u_s(t)]\,.$$

Die nichtlineare ungerade Funktion $f_s[.]$ charakterisiert den Zusammenhang zwischen Motordrehzahl und Steuerspannung $u_s(t)$. Die in [7] angegebenen Parameterwerte wurden zum Aufbau eines Analogrechnermodells benutzt, dessen nichtlineare Kennlinie $f_s[.]$ mittels eines Funktionsgebers realisiert wurde.

5. Experimentelle Untersuchungen

Das Bezugsmodell schreibt das gewünschte Prozeßübertragungsverhalten vor. Es muß so gewählt sein, daß das Trägheitsverhalten des Prozesses es erlaubt, dem Modellausgangssignal mit zulässiger Stellamplitude zu folgen. Diese ist beim Reaktormodell ohnehin durch die nichtlineare Stellgliedcharakteristik $f_s[\cdot]$ begrenzt.
Das analoge Reaktormodell (12) einschließlich Stellglied (13) wird durch ein DGL-System 9. Ordnung beschrieben. Der diskrete adaptive Regler ist bei totzeitfreien Systemen gegenüber Ordnungsdifferenzen robust. Deshalb wurde ein Modell 3. Ordnung gewählt. Mit $n = 3$ und $m = 0$ hat der Regler 6 einstellbare Parameter:

$$G_M = g_M\,\frac{z^2 + b_1 z + b_0}{z^3 - a_2 z^2 - a_1 z - a_0}\,. \tag{14}$$

Folgende Modellparameter wurden angesetzt:

$$G_M = 0{,}0225\,\frac{z^2}{z(z - 0{,}85)^2} = 0{,}0225\,\frac{z}{z^2 - 1{,}7z + 0{,}7225}\,. \tag{15}$$

Ein Pol und eine Nullstelle bei $z = 0$ sind kürzbar. Die Tastperiode für den Reglerbetrieb ist $T = 100$ ms. Bei Verwendung eines Haltegliedes lautet die kontinuierliche Modellübertragungsfunktion:

$$G_M(p) = \frac{0{,}125p + 2{,}641}{p^2 + 3{,}250p + 2{,}641}\,. \tag{16}$$

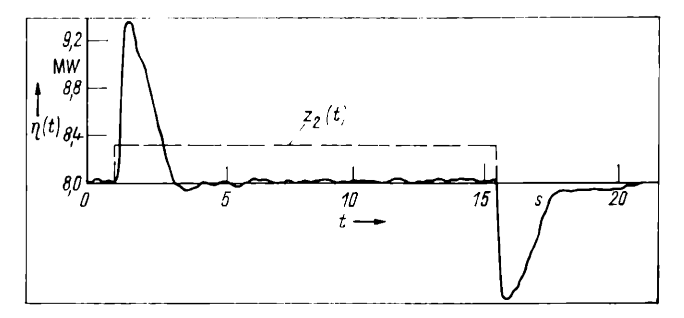


Bild 5. Regelgröße $\eta(t)$ bei sprungförmiger Reaktivitätsstörung ($\eta_0 = 8$ MW)

Die Parameter Q, $g_{\max}$, c bestimmen die Konvergenzeigenschaften des modelladaptiven Algorithmus. Es wurden $c = 0 \dots 20$, $g_{\max} = 2g_M \dots 5g_M$ und $\boldsymbol{Q} = 10^3\boldsymbol{I} \dots 10^7\boldsymbol{I}$ angesetzt; $\boldsymbol{I}$ als $(2n, 2n)$-Einheitsmatrix. Die numerische Genauigkeit des MR-Reglers erwies sich als ausreichend, die benötigten Rechenzeiten betragen für $n = 2$ 33 ms, $n = 3$ 40 ms, $n = 4$ 48 ms. Die Rechenzeit steigt etwa linear mit der Modellordnung.
Zur Beurteilung der Eigenschaften der modelladaptiven Regelung wurden bei definierten Reaktorleistungen das Referenzsignal (Führungsgröße) sprungförmig geändert. Dabei war dem Prozeß am Ausgang die stochastische Störung $z_1(t)$ überlagert, um die statistischen Schwankungen der Regelgröße $\eta(t)$ nachzubilden. Bei $P_{\text{th}} = 8$ MW und $P_{\text{th}} = 2$ MW wurden die in den Bildern 3 und 4 dargestellten Sprungantworten für Sollwertänderungen von 20% aufgezeichnet. Der modelladaptive Regler ist in der Lage, das nichtlineare Reaktormodell auch in verschiedenen Arbeitspunkten dem Bezugsmodell hinreichend genau nachzuführen.
Durch die Störgröße $z_2(t)$ wurde der Prozeß mit determinierten Störungen beaufschlagt. Im Bild 5 ist die Antwort auf eine sprungförmige Reaktivitätsstörung von 16 ¢ dargestellt. Für unterschiedliche Reaktorleistungen variierte die Ausregelzeit infolge der arbeitspunktabhängigen Kreisverstärkung sowie der Begrenzung des Stellsignals.

Zusammenfassung

Ein modelladaptives Verfahren und seine Implementierung auf einem 8-bit-Mikrorechner wurden vorgestellt. Der Regler dient zur Leistungsregelung eines analog simulierten Reaktormodells. Das Verhalten des geregelten Reaktors bei Führungsgrößenänderungen sowie das Störverhalten wurden untersucht.

Literatur

[1] *Unbehauen, H.* (Hrsg.): Methods and Applications in Adaptive Control. Lecture Notes in Control and Inf. Sciences 24. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1980.
[2] *Åström, K. J.:* Theory and Applications of Adaptive Control Plenary Session Kyoto/Japan: 8th IFAC-Congress 1981.
[3] *Harries, C. J.; Billings, S. A.* (Hrsg): Self-Tuning and Adaptive Control: Theory and Applications. IEE Control Engineering Series 15. Stevenage, UK: P. Peregrinus Ltd. 1981.
[4] *Kučera, V.:* Discrete Linear Control. Prag: Academia 1979.
[5] *Vack, G.-U.:* Mikrorechnerprogrammierung in der Dialogsprache „FORTH". TH Ilmenau: 27. Intern. Wiss. Kolloquium, Oktober 1982, Reihe A2, H. 3, S. 35–40.
[6] *Schultz, M. A.:* Control of Nuclear Reactors and Power Plants. New York/Toronto/London: McGraw-Hill Book Comp. 1955.
[7] *Drößiger, D.:* Einsatzerprobung eines Mikrorechnerreglers. Diplomarbeit, TU Dresden 1981.

msr 7967



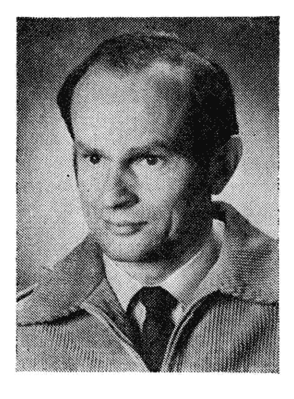
Honorar-Dozent Dr.-Ing. Hans Fuchs berufen

Mit Wirkung vom 1. September 1983 wurde Honorar-Dozent Dr.-Ing. *H. Fuchs* (46) zum Honorar-Professor für Automatisierungsgeräte an die Technische Universität Dresden berufen.
Prof. *Fuchs* ist durch seine weit über zwanzigjährige erfolgreiche Tätigkeit auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik ein in der DDR und über die Grenzen unseres Landes hinaus anerkannter Fachmann.
Nach dem Studium der Technischen Kybernetik und Automatisierungstechnik an der TH Ilmenau nahm er 1960 seine Tätigkeit im Institut für Regelungstechnik (IFR) in Berlin auf. Er begann dort sozusagen von der Pieke auf zunächst als Konstrukteur, war dann Entwicklungsingenieur, 1965 wurde er Gruppenleiter für Theorie der automatischen Steuerung.
Aufgrund seiner erfolgreichen Arbeit wurde ihm bereits 1965 die Aufgabe eines Fachdirektors im Bereich der Geräteentwicklung übertragen. Ab 1969 war er dann stellvertr. Direktor und von 1979 bis 1983 Direktor des IfR. Von 1981 bis 1983 war er gleichzeitig Direktor für Forschung und Entwicklung des VEB Kombinat Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow. Seit dem 1. 11. 1983 ist er stellvertr. Direktor des Zentralinstitutes für Kybernetik und Informationsprozesse (ZKI) der Akademie der Wissenschaften der DDR.

Er hat wesentlichen Anteil an der Entwicklung von Profil und Stand der Gerätetechnik auf dem Gebiet der Prozeßautomatisierung in der DDR, wofür er vielfach ausgezeichnet wurde.

Neben seiner vielseitigen und erfolgreichen Tätigkeit in der Industrie bemüht sich Prof. *Fuchs* kontinuierlich und wirkungsvoll um gute Kontakte mit den Hochschulen und Universitäten der DDR. In diesem Sinne nahm er seit 1968 Lehraufträge an der TH Karl-Marx-Stadt und der TU Dresden wahr. Er promovierte 1972 zu Problemen der Mehrgrößenregelung. Im Jahre 1975 wurde er Honorar-Dozent für Regelungstechnik an der TU Dresden. Trotz seiner vielfältigen verantwortungsvollen Aufgaben in der Industrie sowie in nationalen und internationalen Gremien übermittelte er seine reichhaltigen, wissenschaftlichen und industriellen Erfahrungen sowohl an Studenten als auch an die Fachleute des In- und Auslandes. Diese Aktivitäten kommen in seiner umfangreichen Vortrags- und seiner breiten Publikationstätigkeit in wissenschaftlichen Zeitschriften und als Autor bzw. Mitautor und Herausgeber von Buchveröffentlichungen zum Ausdruck.
Es ist sicherlich ein Gewinn für die Ausbildung von Spezialisten der Regelungstechnik, wenn die TU Dresden die umfassenden Kenntnisse und Erfahrungen von Prof. *Fuchs* zur weiteren Verbesserung und Aktualisierung der Ausbildung auf dem Gebiet der Automatisierungsgeräte verstärkt nutzen kann.
Wer Prof. *Fuchs* kennt, weiß, daß er die ihm mit dieser Berufung übertragenen verantwortungsvollen Aufgaben bei der Ausbildung und Erziehung zukünftiger Generationen von Regelungstechnikern mit Elan und Ausstrahlungskraft wahrnehmen wird. Mit der Gratulation zu seiner Berufung wünschen ihm seine Fachkollegen weiterhin beste Erfolge in Lehre und Forschung.
Prof. *Fuchs* ist langjähriges aktives Mitglied des Redaktionsbeirates der msr. Die Redaktion und der Redaktionsbeirat schließen sich den oben ausgesprochenen Wünschen an.

msr 8008 *H. Töpfer*



Dozent Dr. sc. techn. Roland Strietzel berufen

Mit Wirkung vom 1. September 1983 wurde Doz. Dr. sc. techn. *R. Strietzel* (45) zum außerordentlichen Professor für Prozeßsteuerungen an die Technische Universität Dresden berufen.
Professor *Strietzel* studierte bis 1962 an der TU Dresden, dabei spezialisierte er sich auf die Gebiete Nachrichtentechnik und Regelungstechnik. Seine anschließende Tätigkeit als Assistent an der TU Dresden war fachlich den Problemen der A/D-Umsetzung gewidmet; zu dieser Thematik promovierte er 1969. Von 1968 bis 1977 widmete er sich den Problemen der Signalerkennung, der Informationstheorie und der Impulssysteme.
Die Promotion B zum Thema „Technische Anwendungen der Informationstheorie" wurde 1977 abgeschlossen.
Professor *Strietzel* hielt und hält Vorlesungen zu Problemen der Nachrichtentechnik, Informationstheorie, Theorie der Impulssysteme und Regelungstechnik. Er wurde 1977 Hochschul-Dozent für Regelungstechnik an der TU Dresden.
Sein bisheriges Wirken auf dem Gebiet der Regelungstechnik war neben seiner Lehrtätigkeit in der Forschung insbesondere auf die erfolgreiche Umsetzung und Anwendung moderner Verfahren der automatischen Steuerung zur Lösung von Aufgaben der Automatisierung verfahrenstechnischer Prozesse gerichtet. Vor allem in den zurückliegenden Jahren kam seine wissenschaftliche Vielseitigkeit in hervorragender Weise in der Ausbildung und Forschung zur Wirkung.
Seine längeren Spezialistenaufenthalte an der Universität von Oriente in Santiago de Cuba/Republik Kuba, dienten dort der Unterstützung des Aufbaues eines Lehrstuhles Nachrichtentechnik und des Fachgebietes Regelungstechnik.
Professor *Strietzel* hat aufgrund von Vorträgen auf Kongressen und durch seine wissenschaftlichen Veröffentlichungen, auch über die Grenzen unseres Landes hinaus, einen guten fachlichen Ruf erlangt.
Seine Berufung zum a. o. Professor an die TU Dresden wird Prof. *Strietzel* Ansporn sein, der Aus- und Weiterbildung sowie der Entwicklung unseres Fachgebietes durch seine wissenschaftliche Vielseitigkeit neue Impulse zu verleihen. Dazu wünschen ihm seine Fachkollegen und die Redaktion der msr die ihm hiermit zu seiner Berufung gratulieren, weiterhin beste Erfolge. msr 8007 *H. Töpfer*

Internationaler Veranstaltungskalender 1984 (Auswahl)

- 22. bis 24. Februar Dresden — 17. Fachkolloquim Informationstechnik
- 27. Februar bis 2. März Birmingham/GB — ELECTREX '84 Internationale Elektrotechnische Ausstellung (Elektronik, Instrumentierung, Regelung und Automation)
- Februar Brno/ČSSR — ROBOT — 4. Internationale Ausstellung von Industrierobotern
- 11. bis 17. März Leipzig — Leipziger Frühjahrsmesse
- 19. bis 21. März Bad Nauheim/BRD — Sensoren — Technologie und Anwendung
- 27. bis 29. März Aachen/BRD — 6. Fluidtechnisches Kolloquium
- 4. bis 11. April Hannover/BRD — Hannover-Messe '84
- 11. bis 17. April Zagreb/Jugosl. — Internationale Zagreber Frühjahrsmesse
- 9. bis 12. Mai Bressanone/Italien — IMEKO-Symposium TC 7 „Messen und Schätzen"
- 10. bis 19. Juni Poznań/VR Polen — Internationale Messe
- 2. bis 6. Juli Budapest — 9. IFAC-Weltkongreß
- 30. Juli bis 2. August Montreal/Kanada — 7. Internationale Konferenz über Mustererkennung
- 12. bis 19. September Brno/ČSSR — Internationale Maschinenmesse
- 26. bis 28. September Brighton/GB — EUROCON '84 6. Europäische Elektronik-Konferenz „Computer in Kommunikation und Steuerung"
- 26. September bis 10. Oktober Plovdiv/VR Bulg. — Internationale Technische Messe
- 16. bis 18. Oktober Suhl — IMEKO-Symposium TC 12 „Temperaturmessung in Industrie und Wissenschaft"
- 29. Oktober bis 2. November Ilmenau — 29. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium (IWK)
- 13. bis 17. November München/BRD — Electronica '84
- Dezember Göteborg/Schweden — SCAN AUTOMATIK Internationale Messe für Hydraulik, Pneumatik, Elektronik, Transmissionstechnik, Regeltechnik

Die Ankündigungen sind als unverbindliche Information zu betrachten, da es bei den Veranstaltungen gelegentlich zu Terminverschiebungen oder anderweitigen Änderungen kommen kann.

Red.

Weiterbildung Automatisierungstechnik 1984 der TU Dresden, Sektion Informationstechnik

Die TU Dresden, Sektion Informationstechnik, Bereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerung, plant in Zusammenarbeit mit dem Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR, Institutsteil Dresden, die Durchführung folgender Kurse:

- *Aufbau, Funktion und Applikation von Mikrorechner-Reglern*
  9. bis 13. April 1984, 26 Stunden, Anmeldung bis 15. Februar 1984
- *Sicherheit und Zuverlässigkeit von Automatisierungssystemen*
  23. bis 27. April 1984, 30 Stunden, Anmeldung bis 15. Februar 1984
- *Rechnergestützter Entwurf mehrvariabler und dezentraler Regler im Zeitbereich unter Berücksichtigung ihrer Realisierbarkeit in moderner Gerätetechnik*
  7. bis 11. Mai 1984, 30 Stunden, Anmeldung bis 1. März 1984
- *Sensorsysteme für die Automatisierungstechnik — Fluidische Automatisierungsmittel*
  28. Mai bis 1. Juni 1984, 30 Stunden, Anmeldung bis 15. März 1984
- *Modellgewinnung und Reglerentwurf von Mehrgrößenregelkreisen im Frequenzbereich mittels Kleinrechentechnik*
  4. bis 8. Juni 1984, 30 Stunden, Anmeldung bis 31. März 1984
- *Anwendung nichtkonventioneller Algorithmen zur automatischen Steuerung (Beispiele)*
  17. bis 21. September 1984, 26 Stunden, Anmeldung bis 31. Mai 1984
- *Automatisierung der experimentellen Forschung*
  8. bis 12. Oktober 1984, 30 Stunden, Anmeldung bis 30. Juni 1984.

Anmeldungen und Anfragen sind zu richten an:
Technische Universität Dresden, Sektion Informationstechnik, Stellvertreter des Direktors für Erziehung, Aus- und Weiterbildung, 8027 Dresden, Mommsenstraße 13.

Postgraduales Studium Automatisierungstechnik, Matrikel 2

Die TU Dresden immatrikuliert im September 1984 erneut Teilnehmer für ein viersemestriges postgraduales Studium Automatisierungstechnik. Mit diesem Studium wird an Bewerber aus Fachdisziplinen, in denen die Automatisierungstechnik in steigendem Maße wirksam wird, z. B. Verfahrenstechniker, Technologen, Maschinenbauer, Chemiker, Mathematiker, Physiker, Ökonomen und Arbeitswissenschaftler, ein anwendungsbezogenes automatisierungstechnisches Grundwissen vermittelt, das sie zur Mitwirkung bei der Lösung von Automatisierungsaufgaben ihres Fachgebietes befähigt. Das Studium umfaßt 373 Stunden Lehrveranstaltungen und Praktika in 11 einwöchigen Studienkursen sowie 1200 Stunden Selbststudium. Lehrgebiete sind u. a.:

- Grundlagen und Theorie der automatischen Steuerung
- Geräte und Anlagen der Automatisierungstechnik
- Rechentechnik in der Prozeßautomatisierung
- Automatisierungslabor.

Voraussetzung für die Teilnahme ist ein abgeschlossenes Hochschulstudium oder der Fachschulabschluß in einer technischen Fachrichtung.
Bewerbungen sind bis zum 31. Mai 1984 zu richten an:
Technische Universität Dresden, Direktorat für Studienangelegenheiten, Abteilung Studienberatung/Zulassung, 8027 Dresden, Mommsenstr. 13.

Wiederholung der Fachtagung „Elektronische Stromversorgungen — Stand und Perspektiven"

Aufgrund der vielen Teilnahmemeldungen, die zur 11. Fachtagung des Fachausschusses 14 der KDT eingegangen waren, wird diese Tagung am 23. Januar 1984 in Berlin, Kongreßhalle am Alexanderplatz, Gelber Saal, wiederholt (Beginn 10.00 h).
Schriftliche und telefonische Anfragen können gerichtet werden an:
KDT-Präsidium, Fachverband Elektrotechnik, 1086 Berlin, Clara-Zetkin-Str. 115/117, Telefon 2202531, App. 216.

AUPRO 84

Die TH Karl-Marx-Stadt führt gemeinsam mit dem Bezirksvorstand der KDT vom 20. bis 22. Juni 1984 in Karl-Marx-Stadt die wissenschaftliche Fachtagung AUPRO 84 (automatisierte bedienarme Produktion) mit internationaler Beteiligung durch.

In Plenarvorträgen und 3 Fachsektionen kommen folgende Themenkomplexe zum Vortrag:

- Konstruktive und technische Lösungen für die Teilefertigung und Montage in der automatisierten bedienarmen Produktion
  - Fertigungseinrichtungen für die Teilefertigung
  - Montageeinrichtungen
  - Technologische Probleme der automatisierten bedienarmen Produktion
- Gesamtbetriebliche Gestaltungslösungen für die flexible automatisierte bedienarme Produktion
  - Arbeitswissenschaftliche Gestaltungslösungen
  - Systeme der Instandhaltung und technischen Diagnostik
  - Systeme des Material- und Informationsflusses.

Weiterhin finden Rundtischgespräche, Besichtigungen der Versuchsfelder der Sektionen Fertigungsprozeß und Fertigungsmittel und Technologie der metallverarbeitenden Industrie statt.
Interessenten wenden sich bitte an: KDT-Tagungsorganisation, Bezirksvorstand der KDT Karl-Marx-Stadt, 9010 Karl-Marx-Stadt, Postfach 504 (Telefon 6 21 41).

Fachtagung „Feuchte '84"

Im Oktober 1984 findet in Suhl die 2. Fachtagung „Feuchtemeßtechnik" statt, die von der KDT Suhl in Zusammenarbeit mit der TH Ilmenau veranstaltet wird. Ziel der Veranstaltung ist die Vorstellung neuer Entwicklungsergebnisse auf dem Gebiet der Feuchtemeßtechnik. Folgende grundlegende Themenkreise sollen behandelt werden:

- Entwicklung von Feuchtesensoren, insbesondere unter der Nutzung von Technologien der Mikroelektronik (theoretische Grundlagen, Definitionen, Gasfeuchtesensoren, Materialfeuchtesensoren)
- Anwendung von Mikrorechnern zur Verarbeitung der Steuersignale (Kennlinienkorrektur, Berechnung thermodynamischer Größen, Feuchteregelung in industriellen Prozessen.

Neben den Vortragsreihen sind Postervorträge geplant. In einem Rundtischgespräch wird über den aktuellen Stand und die Entwicklungstendenzen der Feuchtemeßtechnik beraten.
Vortragsmeldungen werden (bis 31. Januar 1984) erbeten an:
TH Ilmenau, Doz. Dr. sc. techn. *D. Heinze*, Sektion TBK, WB Prozeß-, Meß- und Sensortechnik, 6300 Ilmenau, Postfach 327.
Teilnahmewünsche sind zu richten an: KDT — Bezirksverband Suhl, Bereich Wissenschaft und Technik, 6000 Suhl, Ernst-Thälmann-Platz 4.

KURZFASSUNGEN

Töpfer, H.; Willem, H.; Fuchs, H.:

Zum Stand der Anwendung moderner Automatisierungsmittel

msr, Berlin 27 (1984) 1, S. 2–7 und 12

Im Beitrag wird zu speziellen und verallgemeinerten Erfahrungen bei Planung, Entwurf, Projektierung und Inbetriebnahme moderner Automatisierungssysteme berichtet. Die speziellen Erfahrungen werden aus Einsatzfällen mit Gerätesystemen und Rechnern aus der DDR, die allgemeinen Einschätzungen aus internationalen Erfahrungen abgeleitet.

Besch, P.; Teichmann, W.; Baldeweg, F.:

Aktuelle Automatisierungsaufgaben und ihre Lösungsmöglichkeiten in der Energietechnik

msr, Berlin 27 (1984) 1, S. 8–12

Der Stand der Regelungstheorie und die Entwicklung moderner digitaler Automatisierungsgeräte ermöglichen die praktische Anwendung neuer Konzepte der Anlagenautomatisierung. Durch den Einsatz der Mehrgrößenregelung, der adaptiven Regelung, der Steuerung instationärer Prozeßabläufe, der Echtzeitdiagnose und Prozeßsicherung auf der Grundlage hierarchisch gegliederter Automatisierungsstrukturen wird die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der Energieumwandlungsprozesse erhöht.

Stange, H.; Schmidt, F.:

Anwendung der peripheren Antriebstechnik bei Hartkaramellenverpackungsmaschinen am Beispiel der gesteuerten Packmittelzuführung

msr, Berlin 27 (1984) 1, S. 13–16

Für eine neue Generation intermittierend arbeitender Hartkaramellenverpackungsmaschinen wird der Einsatz eines elektrischen Schrittantriebes für die Packmittelzuführung untersucht. Mit diesem Antrieb ergibt sich eine leichte Anpassung der Packmittelzuführung an die Taktzahl der Maschine und eine nutzerfreundliche Formateinstellung sowie die Möglichkeit zur Druckmarkenzentrierung und Leertaktsteuerung. Ein elektronisch geregelter Vorabzug komplettiert diesen Antrieb, wobei das dynamische Verhalten verbessert und eine geringere Packmittelbeanspruchung erreicht werden.

Reinschke, K.; Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.:

Strukturmodell für komplexe Automatisierungsanlagen und seine Anwendung in der Kraftwerksautomatisierung

msr, Berlin 27 (1984) 1, S. 29–33

Für automatisierte Systeme, die durch nichtlineare Regelstrecken und die Verknüpfung von analoger und binärer Signalverarbeitung gekennzeichnet sind, wird ein Strukturmodell in Gestalt eines Booleschen Matrizenpaares $[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}]_t$ aufgestellt. Die Matrizenelemente ergeben sich zur Zeit t als logische Funktionen der Anfangsspeicherzustände und der bis dahin gesetzten Eingangssignale. Als Anwendung wurde ein „Speisewasser-Verdampfer-System" bezüglich seiner strukturellen Steuerbarkeit von der Warte aus untersucht.

Kopacek, P.:

Mikrorechner zur Automatisierung maschinenbaulicher Prozesse

msr, Berlin 27 (1984) 1, S. 35–38

Aus topologischer Sicht bringt der Einsatz von Mikrorechnern eine Rückkehr zu den dezentralen Automatisierungskonzepten der Jahrhundertwende. Die sich durch diese neue Technologie bietenden Möglichkeiten werden von den heute handelsüblichen Geräten nur sehr unvollständig genutzt. Es wird anhand von drei Beispielen gezeigt, daß ein gangbarer Weg bei der Anwendung „fortgeschrittener Regelalgorithmen" in einer Kombination von Theorie und Heuristik liegt und die Hauptprobleme in der Wahl eines geeigneten Algorithmus und in der Festlegung der darin auftretenden Reglerparameter bestehen.

Berger, F.; Troch, I.; Wittek, E.:

Energieoptimale Tunneltrassen für ein U-Bahn-Netz

msr, Berlin 27 (1984) 1, S. 39–40

Es wird die Frage nach der bestmöglichen Form einer Tunneltrasse im Hinblick auf den Energieverbrauch untersucht, wobei angenommen wird, daß eine Trasse in beiden Richtungen, und zwar jeweils zeitoptimal, durchfahren wird. Das Gesamtproblem wird als hierarchisches Optimierungsproblem aufgefaßt, bei dem die Reisezeit Priorität gegenüber dem Energieverbrauch hat. Es werden drei Verfahren hinsichtlich Aufwand und Effizienz miteinander verglichen. Die Simulationen wurden wegen des Rechenzeitbedarfes weitgehend auf einem Hybridrechner durchgeführt, der Aufwand wird mit dem einer digitalen Simulation verglichen.

Billerbeck, G.; Klinsmann, L.:

Erprobung eines modelladaptiven Mikrorechnerreglers am Modell eines Kernreaktors

msr, Berlin 27 (1984) 1, S. 40–42

Vorgestellt wird ein modelladaptiver Regelungsalgorithmus sowie dessen Implementierung auf einem 8-bit-Mikrorechner. Der unter der Annahme linearer Prozeßmodelle konzipierte Regler dient zur Leistungsregelung eines analog simulierten, nichtlinearen Reaktormodells. Das Verhalten des geregelten Reaktors bei Führungsgrößenänderungen und deterministischen Störungen wurde untersucht.

РЕЗЮМЕ

Töpfer, H.; Willem, H.; Fuchs, H.:

О состоянии применения современных средств автоматизации

msr, Berlin 27 (1984) 1, стр. 2–7 и 12

В статье доложено о специальном и обобщенном опыте, накопленном при планировании, разработке, проектировании и пуске в эксплуатацию современных систем автоматизации. Специальный опыт выведен из случаев применения приборных систем и вычислительных машин из ГДР, общие оценки выведены из международного опыта.

Besch, P.; Teichmann, W.; Baldeweg, F.:

Актуальные задачи автоматизации и возможности их решения в области техники энергии

msr, Berlin 27 (1984) 1, стр. 8–12

Состояние теории регулирования и развитие современных цифровых приборов автоматизации обеспечивают практическое применение новых планов автоматизации установок. Путем применения регулирования нескольких величин, адаптивного регулирования, управления протеканием нестационарных процессов, диагноза в истинном масштабе времени и защиты процесса на основе иерархически подразделенных структур автоматизации повышены безопасность и рентабельность процессов преобразования энергии.

Stange, H.; Schmidt, F.:

Использование периферической приводной техники для упаковочных машин крепкоуваренной карамели на примере управляемого подвода упаковочного материала

msr, Berlin 27 (1984) 1, стр. 13–16

Для нового поколения прерывисто работающих упаковочных машин крепкоуваренной карамели исследовано применение электрического шагового привода для подвода упаковочного материала. При помощи этого привода получаются легкая подгонка подвода упаковочного материала к числу тактов машины, пригодная для потребителя установка формата, а также возможность центровки печатной метки и управления холостым тактом. Электронно регулируемый отвод входит в состав этого привода, причем улучшается динамическое поведение и достигается уменьшенная нагрузка упаковочного материала.

Reinschke, K.; Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.:

Структурная модель для комплексных установок автоматизации и ее применение в области автоматизации электростанций

msr, Berlin 27 (1984) 1, стр. 29–33

Для автоматизированных систем, характеризованных нелинейными объектами регулирования и связью обработки аналоговых и двоичных сигналов, разработана структурная модель в виде Булевой матричной пары $[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}]_t$. Матричные элементы получены во время t как логические функции начальных состояний запоминающего устройства и установленных до сих пор входных сигналов. Как применение исследована „система питательной воды — испарителя" относительно ее структурной управляемости от контрольного пункта.

Kopacek, P.:

Микровычислитель для автоматизации машиностроительных процессов

msr, Berlin 27 (1984) 1, стр. 35–38

С точки зрения топологии применение микровычислителей приносит с собой возвращение к децентральным концептам автоматизации на рубеже столетия. Возможности, созданные этой новой технологией использованы принятыми сегодня приборами только очень неполным образом. На трех примерах показано, что возможный путь при применении „прогрессивных алгоритмов регулирования" находится в комбинации теории с евристикой, а основные проблемы заключаются в выборе подходящего алгоритма и в установлении встречающихся в нем параметров регулирования.

Berger, F.; Troch, I.; Wittek, E.:

Энергооптимальные тоннельные трассы для сети метро

msr, Berlin 27 (1984) 1, стр. 39–40

Исследован вопрос относительно наилучшей формы тоннельной трассы по отношению к потреблению энергии, причем предполагается, что обеспечен проход через трассу в обоих направлениях, а именно каждый раз оптимально во времени. Вся проблема понимается как иерархическая проблема оптимизации, при которой рейсовое время имеет приоритет по сравнению с потреблением энергии. Сравнены три метода относительно затрат и эффективности. Моделирования из-за потребления времени вычисления в большинстве случаев проведены на гибридном вычислителе; затраты сравнены с затратами цифрового моделирования.

Billerbeck, G.; Klinsmann, L.:

Испытание модель-адаптивного микровычислительного регулятора на модели ядерного реактора

msr, Berlin 27 (1984) 1, стр. 40–42

Представлен модель-адаптивный алгоритм регулирования, а также его имплементирование на микровычислителе 8 бит. Регулятор, концинированный при условии линейных процессных моделей служит для регулирования производительности аналогово моделированной, нелинейной реакторной модели. Исследовано поведение регулированного реактора при изменениях задающих величин и детерминистических помехах.

SUMMARIES

Töpfer, H.; Willem, H.; Fuchs, H.:

On the Present State of Modern Automation Systems Application

msr, Berlin 27 (1984) 1, pp. 2–7 and 12

The authors report on special and generalized experiences with the planning, design, projection and setting to work of modern automation systems. The special experiences are derived from application cases based on apparatus systems and computers produced in GDR, the general estimations being derived from international experiences.

Besch, P.; Teichmann, W.; Baldeweg, F.:

Actual Automation Problems and their Solution Possibilities in Energy Engineering

msr, Berlin 27 (1984) 1, pp. 8–12

The state of control theory and the development of modern digital automation devices allow the practical application of new conceptions for the automation of technological plants. By use of the multivariable and adaptive feedback control, the control of instationary process operation modes, real-time diagnosis and process securing on the base of hierarchical automation structures the safety and economy of the energy transformation processes are increased.

Stange, H.; Schmidt, F.:

Application of the Peripheral Drive Technique with Packing Machines Demonstrated by the Controlled Packing Means Feed

msr, Berlin 27 (1984) 1, pp. 13–16

For a new generation of packing machines working intermittently the authors study the use of an electrical step drive for the packing means feed. By this drive one obtains an easy adaptation of the packing means feed to the cycle number of the machine, a user-friendly format adjustment as well as the possibility for printing label centering and skip cycle control. A preliminary draining controlled electronically completes this drive and leads to an improved dynamical behavior and a lower packing means stress.

Reinschke, K.; Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.:

Structural Model for Complex Automation Systems and Its Application in the Power Station Automation

msr, Berlin 27 (1984) 1, pp. 29–33

For automated systems characterized by nonlinear plants and the combination of analogue and binary signal processing the authors establish a structural model in form of the Boolean matrix pair $[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}]_t$. The matrix elements at time t result as logical functions of the initial memory states and the input signals acting up to this time. As an application case a feedwater-evaporator system was studied with regard to its structural controllability.

Kopacek, P.:

Microcomputers for the Automation of Mechanical Engineering Processes

msr, Berlin 27 (1984) 1, pp. 35–38

From a topological point of view the application of microcomputers represents a return to the decentral automation conceptions at the beginning of this century. The possibilities offered by the new technology are only uncompletely used by the present commercial apparates. By means of three examples the author shows that with the application of modern control algorithms a possible approach consists in a combination of theory and heuristics and the main problem is the choice of a suited algorithm and the determination of the parameters arising in it.

Berger, F.; Troch, I.; Wittek, E.:

Energy-Optimal Tunnel Traces for an Unterground Railway Net

msr, Berlin 27 (1984) 1, pp. 39–40

The authors study the question as to the best form of a tunnel trace with regard to the energy consumption under the condition that a trace is passed in both directions in a time-optimal way. The total problem is considered a hierarchical optimization problem with which the passing time has priority against the energy consumption. Three methods are compared one with the other as to expense and efficiency. For the sake of computing time required the simulations have been carried out on a hybrid computer, the expense being compared with that of a digital simulation.

Billerbeck, G.; Klinsmann, L.:

Test of a Model-Adaptive Microcomputer Controller by the Model of a Nuclear Reactor

msr, Berlin 27 (1984) 1, pp. 40–42

The authors present a model-adaptive feedback control algorithm as well as its implementation on an 8-bit-microcomputer. The regulator designed under the assumption of linear process models serves for the power control of a nonlinear reactor model simulated on an analog computer. The behavior of the controlled reactor with reference value changes and deterministic perturbations is studied.

RÉSUMÉS

Töpfer, H.; Willem, H.; Fuchs, H.:

Sur l'état présent de l'emploi de systèmes d'automation modernes

msr, Berlin 27 (1984) 1, pp. 2–7 et 12

Les auteurs rapportent sur des expériences spécialisées et généralisées près le planning, le projet et la mise en marche de systèmes d'automation modernes. Les expériences spéciales sont dérivées de cas d'emploi basés sur des systèmes d'appareil et calculateurs produits en RDA, les estimations générales étant dérivées des expériences internationales.

Besch, P.; Teichmann, W.; Baldeweg, F.:

Des problèmes d'automation actuels et leurs possibilités de solution dans la technique d'énergie

msr, Berlin 27 (1984) 1, pp. 8–12

L'état de la théorie des asservissements et le développement d'appareils 'automation digitaux modernes permettent l'emploi pratique de nouvelles conceptions de l'automatisation de processus technologiques. En utilisant le réglage multidimensionnel et le réglage adaptatif, la commande des modes instationnaires de processus, le diagnostic en temps réel et la sûreté de processus sur la base de structures hiérarchiques d'automatisation, la sécurité et l'économie des processus de transformation d'énergie sont augmentées.

Stange, H.; Schmidt, F.:

L'emploi de la technique d'entraînement périphérique près des empaqueteuses démontré par le chargement commandé du moyen d'emballage

msr, Berlin 27 (1984) 1, pp. 13–16

Pour une nouvelle génération d'empaqueteuses travaillant intermittemment, les auteurs étudient l'emploi d'un entraînement électrique pas-à-pas pour le chargement du moyen d'emballage. Par cet entraînement, on obtient une facile adaptation du chargement du moyen d'emballage au nombre de cycle de la machine, un ajustement usager-aimable de format ainsi que la possibilité pour le centrage de la marque d'impression et la commande de rythme à vide. Une préextraction asservie électroniquement complète cet entraînement et conduit à une amélioration du comportement dynamique et un moindre effort du moyen d'emballage.

Reinschke, K.; Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.:

Un modèle de structure pour des systèmes d'automation complexes et son emploi dans l'automatisation de centrales électriques

msr, Berlin 27 (1984) 1, pp. 29–33

Pour des systèmes automatisés caractérisés par des objets à asservir non linéaires et la combinaison des traitements de signal analogique et binaire, les auteurs établissent un modèle de structure en forme d'une paire de matrices booléiennes $[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}]_t$. Les éléments des matrices au temps t résultent comme onctions logiques des états de mémoire initiaux et des signaux d'entrée actif usqu'à ce temps. Comme cas d'emploi, un système eau d'alimentation-évaporateur était étudié en vue sa gouvernabilité structurale.

Kopacek, P.:

Des micro-ordinateurs pour l'automatisation de processus de la construction mécanique

msr, Berlin 27 (1984) 1, pp. 35–38

D'un point de vue topolique, l'emploi de micro-ordinateurs présente un retour aux conceptions d'automatisation décentrales au commencement de ce siècle. Les possibilités offertes par la nouvelles technologie ne sont utilisées que très incomplètement par de présents appareils commerciaux. A l'aide de trois exemples, l'auteur montre qu'une possible approche près l'emploi d'algorithmes de réglage modernes consiste dans une combinaison de la théorie avec l'heuristique et le problème principal est le choix d'un apte algorithme et la détermination des paramètres apparaissant dans lui.

Berger, F.; Troch, I.; Wittek, E.:

Des tracés de tunnel énergie-optimaux pour un réseau de métro

msr, Berlin 27 (1984) 1, pp. 39–40

Les auteurs étudient la question quant à la meilleure forme d'un tracé de tunnel en vue de la consommation d'énergie sous la condition que le tracé est passé dans les deux directions d'une manière optimale en temps. Le problème total est considéré un problème d'optimisation hiérarchique près lequel le temps de passage a une priorité devant la consommation d'énergie. Trois méthodes sont comparées l'une avec l'autre quant à la dépense et l'efficacité. En raison du temps de calcul exigé, les simulations sont exécutés sur un calculateur hybride, la dépense étant comparée avec celle d'une simulation digitale.

Billerbeck, G.; Klinsmann, L.:

Le test d'un régulateur modèle-adaptatif a micro-ordinateur avec le modèle d'un réacteur nucléaire

msr, Berlin 27 (1984) 1, pp. 40–42

Les auteurs présentent un algorithme de réglage modèle-adaptatif ainsi que son implémentation sur un micro-ordinateur à 8 bits. Le régulateur projeté sous la supposition de modèles de processus linéaires sert pour le réglage de puissance d'un modèle de réacteur non linéaire simulé sur un calculateur analogique. Le comportement du réacteur asservi près de changements de la valeur de référence et de perturbations déterministiques est étudié.

Bestellschein



Technik-Literatur

Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Fachbuchhandel bestellen.

Expl.

Hydraulik für die Landtechnik
Von einem Autorenkollektiv. Herausgeber:
E. Hlawitschka.
1. Auflage, etwa 240 Seiten, 202 Bilder, 24 Tafeln.
Pappband etwa 20,— M (Ausland etwa 28,— M)
Bestell-Nr.: 5531876 ....

Physikalische Modellierung elektromagnetischer Felder und Prozesse in elektrischen Maschinen
Von *A. Ivanov-Smolenskij* und *J. Meye.*
1. Auflage, etwa 160 Seiten, 64 Bilder, 11 Tafeln.
Broschur 20,— M
Bestell-Nr.: 5532115 ....

Statistik für Elektrotechniker
Eine Darstellung an Beispielen aus der Hochspannungstechnik
Von *W. Hauschild* und *W. Mosch*
1. Auflage, etwa 304 Seiten, 185 Bilder, 56 Tafeln.
Leinen etwa 30,— M (Ausland etwa 40,— M)
Bestell-Nr.: 5532086 ....

Tabellenbuch Montage
Wissensspeicher für die Werksmontage
Von einem Autorenkollektiv. Herausgeber:
E. Richter, W. Schilling und *M. Weise*
1. Auflage, etwa 400 Seiten, 235 Bilder, 349 Tafeln
Kunstleder etwa 25,— M
Bestell-Nr.: 5531665 ....

Taschenbuch Akustik
Herausgeber: *W. Fasold, W. Kraak* und *W. Schirmer*
1. Auflage, in zwei Teilen etwa 1360 Seiten, 1268 Bilder, 346 Tafeln.
Kunstleder etwa 120,— M (Ausland etwa 150,— M)
Bestell-Nr.: 5533193 ....

Darüber hinaus können Sie alle in diesem Heft angezeigten und rezensierten Bücher des VEB Verlag Technik mit diesem Vordruck bestellen.

Expl.

....

....

....

....

....
Name, Vorname

....
Anschrift mit Postleitzahl

....
Datum Unterschrift

messen · steuern · regeln

Herausgeber	Kammer der Technik, Wissenschaftliche Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 tech dd
Verlagsdirektor	Dipl.-oec. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870362) Dipl.-Ing. *Dieter Herrmann*, Redakteur (Telefon: 2870374)
Lizenz-Nr.	1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	15936
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	VEB Druckerei „Thomas Müntzer", 5820 Bad Langensalza
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201. Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in andere Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing
ČSSR	PNS — Ústředni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohradská 41, 12505 Praha PNS, Ústřed na Expedicia Tlače, Gottwaldovo nám. 48, 88419 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P. i W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei şi Difuzarii Presel, Palatul Administrativ, Bucureşti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P.K.H.I., Külföldi Előfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160, und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29.

Annahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes bzw. des Instituts enthalten.
Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (Beilage) messen · steuern · regeln 1984 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst „Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] *Barabaščuk, V. I.; Mirošničenko, V. I.; Kredencer, B. P.:* Planirovanie eksperimenta v technike (Versuchsplanung in der Technik). Technika (USSR). 1. Quart. 1984. NK 83–29 (30).

[2] Promyšlennaja robotechnika (Industrielle Robotertechnik). Technkika (USSR). 2. Quart. 1984. NK 83–29 (43).

[3] Odnokristal'nye mikrokomp'jutory v sistemach upravlenija (Einkristall-Mikrorechner in Steuerungssystemen). Technika (USSR). 2. Quart. 1984. NK 83–29 (61).

[4] *Vanjurichin, A. I.; Gerčakovskaja, V. P.:* Optikoelektronnye poljarizacionnye ustrojstva (Optoelektronische Polarisationseinrichtungen). Technika (USSR). 2. Quart. 1984. NK 83–29 (62).

[5] *Lavrinenko, V. Ju.:* Spravočnik po poluprovodnikovym priboram (Nachschlagwerk zu Halbleitergeräten). Technika (USSR). 1. Quart. 1984. NK 83–29 (63).

[6] *Choruniij, V. A.; Dolonja, E. V.; Bogatov, P. N.:* Akustoelektronika (Akustoelektronik). Technika (USSR). 1. Quart. 1984. NK 83–29 (66).

[7] *Drobnica, N. A.:* Avtomatika v bytu (Automatik im Leben). Technika (USSR). 1. Quart. 1984. NK 83–29 (67).

[8] *Zajcev, G. F.; Steklov, V. K.:* Avtomatičeskie sistemy s differencial'nymi svjazjami (Automatische Systeme mit differentiellen Verbindungen). Technika (USSR). 1. Quart. 1984. NK 83–29 (68).

[9] *Belousov, K. N.; Plachotnyj, N. V.; Mochončuk, V. S.:* Operacionnaja sistema OS ES (Operationssystem der OS ES). Technika (USSR). 4. Quart. 1984. NK 83–29 (69).

[10] *Bomko, A. S.:* Mikro-EVM v sistemach upravlenija proizvodstvom (Mikro-Rechner in Systemen zur Steuerung der Produktion). Technika (USSR). 3. Quart. 1984. NK 83–29 (70).

[11] *Vel bickij, I. V.:* Technologija programmirovanija (Technologie der Programmierung). Technika (USSR). 1. Quart. 1984. NK 83–29 (71).

[12] *Eremeev, I. S.; Kondalev, A. I.:* Intellektual'nye terminaly (Intellektuelle Terminals). Technika (USSR). 1. Quart. 1984. NK 83–29 (72).

[13] *Kulakov, A. F.:* Ocenka kačestva programm dlja EVM (Schätzung der Güte von Programmen für EDVA). Technika (USSR). NK 83–29 (73).

[14] Proektirovanie mikroprocessornych izmeritel'nych priborov i sistem (Projektierung von Mikroprozessor-Meßgeräten und Systemen). Technika (USSR). 1. Quart. 1984. NK 83–29 (74).

[15] *Šumkov, Ju. M.; Ejddelvant, V. M.:* Programmnoe obespečenie avtomatizirovannogo proektirovanija elektronnych schem (Programmtechnische Sicherstellung automatisierter Projektierung elektronischer Schaltungen). Technika (USSR). 2. Quart. 1984. NK 83–29 (75).

[16] *Bobrov, V. V.; Poleščuk, V. M.; Gladuš, V. D.* Optimizacija nestacionarnych processov prokatki (Optimierung nichtstationärer Walzprozesse). Technika (USSR). 1. Quart. 1984. NK 83–29 (109).

[17] *Gavriš, A. P.; Voronec, B. M.:* Robotizirovannye mechanoobrabatyvajuščie kompleksy mašinostroitel'nogo proizvodstva (Komplexe Maschinenbauproduktion mit Robotern). Technika (USSR). 3. Quart. 1984. NK 83–29 (110).

[18] *Tonkovid, L. A.:* Avtomatizacija sboročnych processov v obuvnom proizvodstve (Automatisierte Montageprozesse in der Schuhproduktion). Technika (USSR). 2. Quart. 1984. NK 83–29 (147).

[19] Avtomatizacija proizvodstvennych processov v mašinostroenii i priborostroenii (Automatisierung der Produktionsprozesse in Maschinen- und Gerätebau). Izd-vo L'vov. un-ta (USSR). 2. Quart. 1984. NK 83–29 (169).

[20] Avtomatizirovannye sistemy upravlenija i pribory avtomatiki (Automatisierte Steuerungssysteme und Geräte der Automatik). Ausg. 69. Izd-vo Char'k. un-ta. 1. Quart. 1984. NK 83–29 (170), Ausg. 70. Izd-vo Char'k. un-ta. 2. Quart. 1984. NK 83–29 (171), Ausg. 71. Izd-vo Char'k. un-ta. 2. Quart. 1984. NK 83–29 (172).

[21] Dinamičeskie sistemy. Vyp 3 (Dynamische Systeme. Ausg. 3). Izd-vo Kiev.un-ta.(USSR). 1. Quart. 1984. NK 83–29 (183).

[22] Problemy bioniki. Vyp 32 (Probleme der Bionik. Ausg. 32). Izd-vo Char'k. un-ta (USSR). 2. Quart. 1984. NK 83–29 (202).

[23] *Donec, G. A.; Kogan, Ju. O.:* Metody setevogo planirovanija i upravlenija (Methoden der Netzplanung und -steuerung). Višča škola (USSR). 1. Quart. 1984. NK 83–29 (294).

[24] *Abučuk, V. A.; Livšic, A. L.; Fedulov, A. A.:* Avtomatizacija upravlenija (Automatisierung der Steuerung). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1984. NK 83–30 (1).

[25] *Batenko, A. P.:* Sistemy terminal'nogo upravlenija (Systeme der Steuerung über Terminals). Radio i svjaz'. 1. Quart. 1984. NK 83–30 (2).

[26] Bystrye algoritmy v cifrovoj obrabotke izobraženij (Schnelle Algorithmen in der digitalen Verarbeitung von Abbildungen). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1984. NK 83–30 (4).

[27] *Kozub, V. M.; Kiselev, V. S.; Tarascov, O. G.:* Ierarchičeskie sistemy modelej planirovanija i upravlenija (Hierarchische Systeme von Modellen zur Planung und Steuerung). Radio i svjaz'. 1. Quart. 1984. NK 83–30 (11).

[28] *Kudrjavcev, E. M.:* Issledovanie operacij v zadačach, algoritmach i programmach (Operationsforschung in Aufgaben, Algorithmen und Programmen). Radio i svjaz'. 1. Quart. 1984. NK 83–30 (12).

[29] *Šilejko, A. V.; Kočnev, V. F.; Chimušin, F. F.:* Vvedenie v informacionnuju teoriju sistem (Einführung in die informationelle Systemtheorie). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1984. NK 83–30 (17).

[30] *Mirkskij, B. Ja.:* Mikroprocessory v izmeritel'nych priborach (Mikroprozessoren in Meßgeräten). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1984. NK 83–30 (28).

[31] *Gribanov, Ju. I.; Mal'kov, V. L.:* Pogrešnosti i parametry spektral'no-korreljacionnogo analiza (Fehler und Parameter der Spektral- und Korrelationsanalyse). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1984. NK 83–30 (66).

[32] *Gurevič, S. B.; Bykov, R. E.:* Analiz i obrabotka cvetnych i ob'emnych izobraženij (Analyse und Verarbeitung bunter und räumlicher Darstellungen). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1984. NK 83–30 (68).

[33] Adaptacija v informacionnych optičeskich sistemach (Adaption in informationellen optischen Systemen). Radio i svjaz'. 1. Quart. 1984. NK 83–30 (107).

[34] *Brjunin, V. N.; Bulatov, M. Ch.:* Analiz nadežnosti mikroelektronnych sistem pri avtomatizirovannom proektirovanii (Analyse der Zuverlässigkeit mikroelektronischer Systeme bei der Automatisierung der Projektierung). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1984. NK 83–30 (114).

msr 7982

ISSN 0026-0347, mess., steuern, regeln
Berlin 27 (1984) 1, S. 1—48